



EESTI MAAÜLIKOOL
Majandus- ja sotsiaalinstituut

Eva Tuusis

**TERAVILJAKASVATUSE SAAGILÕHE
EESTIS NISU NÄITEL**

**YIELD GAP IN ESTONIA ON THE
EXAMPLE OF WHEAT**

Bakalaureusetöö
Maamajandusliku ettevõtluse ja finantsjuhtimise õppekava

Juhendaja: Katri Kall, *MSc*

Tartu 2017

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Eva Tuusis		Õppekava: Maamajanduslik ettevõtlus ja finantsjuhtimine	
Pealkiri: Teraviljakasvatuse saagilõhe Eestis nisu näitel			
Lehekülgi: 56	Jooniseid: 12	Tabeleid: 4	Lisasid: 7
Osakond: Majandus- ja sotsiaalinstituut Uurimisvaldkond: Põllukultuuride tegelik saagikus ja potentsiaalne saagikus Juhendaja: Katri Kall, <i>MSc</i> Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2017			
<p>Maailma rahvastik ja toiduainete nõudlus kasvavad kiiremini kui suureneb põllukultuuride saagikus. Seega on väga palju tähelepanu pälvinud toidutootmise potentsiaali ja kasvu hindamise meetodid. Soovitakse vähendada lõhet tegelike saagikuste ja potentsiaalsete saagikuste vahel.</p> <p>Bakalaureusetöö eesmärk on hinnata Eesti nisutootmise taset võrreldes potentsiaalse võimaliku tasemega meie piirkonnas ning tuua välja seda mõjutavad tegurid.</p> <p>Töös tutvustatakse saagilõhe terminoloogiat ja arvutamise meetodeid. Uurimistöö empiiriline osa tugineb teistele andmetele. Kasutatakse Eesti Statistikaameti, Põllumajandusuuringute Keskuse, Global Yield Gap Atlas andmebaase.</p> <p>Uurimistöö keskendub Eesti tali- ja suvinisu saagilõhe arvutamisele kasutades selleks Global Yield Gap Atlase mudelit ja selles sisalduvaid WOFOST taimekasvatuse simulatsioonimudeli andmeid veega limiteeritud potentsiaalse saagikuse kohta. Töös leitakse veega limiteeritud potentsiaalse ja tegeliku saagikuse vahe ehk saagilõhe, saavutatava ja tegeliku saagikuse vahe ehk kasutatav saagilõhe, lisaks suhteline saagilõhe ja suhteline saagikus.</p> <p>Töö tulemusena selgus, et talinisu veega limiteeritud potentsiaalne saagikus on tugevas seoses meie piirkonnas saavutatavate maksimaalsete saagikustega, st et mudeli simuleeritud saagikuse dünaamika jälgendab sordikatsete ja viljelusvõistluste tulemuste dünaamikat. Suvinisu veega limiteeritud saagikus on keskmises seoses meie piirkonnas saavutatavate saagikustega, seega suvinisu mudel on ligilähedane, kuid selles on suuremaid kõrvalekaldeid võrreldes sordikatsete tulemustega. Talinisu puhul oli saavutatav saagikus keskmiselt 16% madalam potentsiaalsest saagikusest aga suvinisu puhul oli saavutatav saagikus keskmiselt 11 % kõrgem.</p> <p>Töös arvatud saagilõhed on sarnased Global Yield Gap Atlase arvatud saagilõhedega, mis annab kinnitust, et alt üles (bottom up) andmete kogumise viisiga üles ehitatud globaalne mudel töötab ka kohalikul tasandil.</p> <p>Bakalaureusetöö on hetkel esimene põhjalikum eestikeelne tutvustus selles valdkonnas. Saagilõhe uuringute eesmärk peaks olema riiklikul või globaalsel tasandil toidutootmise potentsiaali hindamine. Töös on näha kui suur hulk tegureid saagilõhe suurust mõjutavad. Saagilõhe vähendamine on oluline küll globaalsel ja riiklikul tasandil, kuid saagikust saab tõsta tootja tasandil.</p>			
Märksõnad: saagilõhe, potentsiaalne saagikus, lõhe sulgemine, saavutatav saagikus, nisu, simulatsioonimudelid			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Eva Tuusis		Speciality: Rural Entrepreneurship and Financial Management	
Title: Yield Gap in Estonia on the Example of Wheat			
Pages: 56	Figures: 12	Tables: 4	Appendixes: 7
Department: Economics and Social Sciences Field of research: Crop actual yield and potential yield Supervisor: Katri Kall, <i>MSc</i> Place and date: Tartu 2017			
<p>Presently, global population and the demand for foodstuff is growing faster than yields. Therefore, the methods that assess growth and potential have sparked a lot of interest. There is a wish to reduce the gap between actual yields and potential yields.</p> <p>The goal of this thesis is to assess Estonian wheat productivity levels compared to the potential theoretical yield in our area and to point out the factors that affect it. As a result of the work, the yield gaps of winter wheat and summer wheat are calculated.</p> <p>The theoretical section of the work is based on various scientific and academic articles. The work familiarises the reader with the terminology of yield gaps. The empirical section of the work is based on secondary data. Data from Statistics Estonia, Agricultural Research Centre and Global Yield Gap Atlas is used.</p> <p>The given thesis focuses on calculating the yield gaps of Estonian winter and summer wheat, using Global Yield Gap Atlas' model which includes WOFOST's water limited potential yield values for plant growing simulation models. The thesis found out the actual yield gap or yield gap of water limited potential yield, the difference between attainable and actual yield gaps aka. Useable yield gaps, also relative yield gap and relative yield.</p> <p>The result of the work showed that water limited potential yield gap for winter wheat is has strong ties with maximum yield in our area, which means that the dynamics of the simulated yield resembles those of the dynamics of cultivar experiments and tillage competitions. Water limited yield for summer wheat is has an average connection in our area to attainable yields, therefore the model for summer wheat is approximate but contains larger differences compared to the results of cultivar experiments. In the case of winter wheat, the attainable yield is 16% lower in average from potential yield, but summer wheat has an attainable yield that is 11% higher.</p> <p>The calculated yield gaps in the thesis are like those of the Global Yield Gap Atlas, which lends credence that the bottom up data collection method model works on a local level.</p> <p>The given work is the first Estonian language introduction to this field. The main goal to research yield gaps is to assess the potential of food production on a global or state level. The reason for introducing the topic was to show how many factors affect the given gap and their importance is relevant on a global and state level, but yield is increased on the producer level.</p>			
Keywords: yield gap, potential yield, closing yield gap, attainable yield, wheat, simulation models.			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. SAAGILÕHE JA POTENTSIAALNE SAAGIKUS	7
1.1. Saagilõhe olemus ja rakendamise võimalused.....	7
1.2. Saagilõhet mõjutavate tegurite ülevaade	16
1.2.1. Potentsiaalse saagikuse arvutamise erinevaid lähenemisviise.....	19
1.2.2. Potentsiaalse saagikuse leidmise GYGA meetod.....	20
2. NISUTOOTMISE SAAGILÕHE JA POTENTSIAALNE SAAGIKUS EESTIS GYGA MUDELI ALUSEL.....	26
2.1. Uurimistöö metoodika ja kasutatavad andmed	26
2.2. Nisu kasvupind ja keskmine saagikus perioodil 1980-2016.....	29
2.3. Talinisu potentsiaalne saagikus GYGA mudeli põhjal, saagilõhe Eestis	32
2.4. Suvinisu potentsiaalne saagikus GYGA mudeli põhjal, saagilõhe Eestis	36
2.5. Järeldused ja arutelu.....	39
KOKKUVÕTE	41
KASUTATUD KIRJANDUS	43
SUMMARY	46
LISAD	48
Lisa 1. Saagikust määravad, piiravad ja vähendavad tegurid	49
Lisa 2. GYGA esitletud veetaseme kujunemine põllul	50
Lisa 3. GYGA väljundandmed veega limiteeritud saagikuse kohta Eestis (2004-2013)	51
Lisa 4. GYGA keskmine saagikus Euroopas mudeli graafilise väljundina.....	52
Lisa 5. GYGA saagilõhe Eestis mudeli graafilise väljundina	53
Lisa 6. Talinisu saagikuste ja saagilõhe arvutused	54
Lisa 7. Suvinisu saagikuste ja saagilõhe arvutused	55

SISSEJUHATUS

FAO hinnangul ületab maailma rahvastik 2050. aastaks üheksa miljardi inimese piiri. Sellisel juhul tuleks võrreldes tänasega toota ca 60% enam toitu. Hinnanguliselt on võimalik saavutada 80% tootmise suurenemisest läbi intensiivistamise (Sadras jt 2015) ehk läbi saagikuse suurendamise pinnaühiku kohta.

Põllumajandussektori efektiivsus on Ida-Euroopa riikides, sealhulgas Eestis, madal (Makuteniene, Baležentis 2015: 246). Ka Eesti teraviljasektori arengukavas 2014-2020 on meie teraviljatootmise ühe suurema probleemina välja toodud madalad keskmised saagikused. Saagikuse kasv on oluline, et säilitada konkurentsivõime Euroopa turul. Intensiivistamise teel on võimalik saagikust suurendada, kuid millises mahu ja kuidas, selleks on vaja selgitada meie tänane tase, võimalik maksimaalne tase ning saagikuste vahe ehk saagilõhe suurus.

Kuna harilik nisu ehk pehme nisu (*Triticum aestivum*) on üks kasvatatumaid toiduteravilju kogu maailmas ning suurimate nisukasvatajate seas on ka Euroopa Liit, siis kõige enam on uuritud ja kajastatud nisu saagilõhet. Eestis ei ole siiani käsitletud saagilõhe kontseptsiooni ja eestikeelne terminoloogia puudub. Saagilõhe uurimine selle vähendamise eesmärgil on üks osa jätkusuutliku intensiivistamise kontseptsioonist. Saagilõhet kujundavate tegurite uurimine aitab hinnata ning suurendada tootmise efektiivsust. Samaaegselt toetab selle kontseptsiooni tundmine juhtimisotsuste tegemist, mis pikemas perspektiivis leevendaksid lühiajaliste mõjurite, nagu näiteks põud või vihmaperioodid, kahjusid.

Bakalaureusetöö eesmärk on hinnata nisutootmise taset Eestis võrreldes potentsiaalse võimaliku tasemega ning selgitada välja, kas leitud potentsiaalne saagikus on meie tingimustes reaalselt saavutatav.

Bakalaureusetöö eesmärgi saavutamiseks seati järgmised uurimisülesanded:

1. anda ülevaade saagilõhet puudutavast terminoloogiast;
2. tuua välja saagilõhet mõjutavad tegurid;
3. tutvustada *Global Yield Gap Atlas* mudelit;

4. leida nisu potentsiaalne saagikus Eestis kasutades *Global Yield Gap Atlas* potentsiaalset saagikust ning arvutada nisutootmise saagilõhe;
5. anda hinnang tali- ja suvinisu vormide potentsiaalsele saagikusele ja saagilõhele.

Töö teoreetiline osa põhineb erinevatel uurimustel ja teadusartiklidel, mis käsitlevad potentsiaalse saagikuse leidmise ja saagilõhe arvutamise viise. Autori siht on tutvustada saagilõhe terminoloogiat eesti keeles ja erinevaid seisukohti ning autoreid. Lisaks teadusartiklitele leiab materjalide hulgas ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsiooni (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*, FAO) välja antud materjale.

Töö empiirilises osas leitakse Eesti nisutootmise potentsiaalne saagikus lähtudes GYGA mudeli andmetest. Saagilõhe arvutamiseks kasutatavad saagitasemed tuuakse välja nii Eesti Statistikaameti kui ka PMK katsekeskuste sordi- ja majanduskatsete andmetel. Võrdluseks esitatakse ka Viljelusvõistluse rekordsaakide tulemused.

1. SAAGILÕHE JA POTENTSIAALNE SAAGIKUS

1.1. Saagilõhe olemus ja rakendamise võimalused

Saagilõhe uuringud pälvivad järjest enam teaduslikku tähelepanu. Uuringute eesmärgiks on suurendada efektiivset põllumajandustootmist ehk intensiivistamist, kuid seda jätkusuutlikult ja säästvalt (*Sustainable intensification of agricultural systems*). Saagilõhet saab väljendada ainult sama kultuuri puhul analoogsetes tingimustes või piirkonnas. Omavahel erinevaid kultuure võimaldab võrrelda suhteline saagilõhe. Saagilõhe dünaamika uurimine aias võimaldab hinnata lõhe vähenemist või suurenemist, ning näha, millised tegurid on saagilõhet mõjutanud. Tähelepanu peab pöörama asjaolule, et saagilõhe arvutamisel samas piirkonnas ja sama kultuuri kohta võidakse saada erinev tulemus, sõltuvalt sellest millist infot on kogutud, missugune potentsiaalne saagikus on aluseks võetud ning kui täpne on potentsiaalse saagikuse simulatsioonimudel ja selles sisalduvad andmed (Beza jt 2017: 209).

Esimene uurimistöö saagilõhe teemadel on aastast 1977, kus Gomez uuris põllult saadavate keskmiste saagikuste ja katsekeskuste saagikuste vahesid, nimetades neid juba siis *yield gap*.

Saagilõhe on potentsiaalne enamsaak, mida on võimalik saavutada olemasolevat saagikust suurendades võimaliku maksimaalse saagikuse piirini. Saagilõhe on erinevus ehk lõhe potentsiaalse ja tegeliku saagikuse vahel (van Ittersum jt 2013: 5). Võimalik maksimaalne saagikus ehk potentsiaalne saagikus on saagikuse tase, mille puhul kultuurtaimel on ideaalsed kasvutingimused ja taime kasvuperioodil ei ole puudust toitainetest ega veest ning saagikust ei ole vähendanud haigustekitajad, umbrohud ega kahjurid (Evans 1996, viidatud: Lobell jt 2009: 3 vahendusel). Mitmete kultuuride kasvatamisel kasutatakse niisutussüsteeme, kuid juhul kui seda ei tehta, siis on tegu veega limiteeritud potentsiaalse saagikusega (*water-limited potential yield*) ja sademete toitelise saagikusega (*rain-fed yield*). Eesti tingimustes kasvatatakse nisu 100% niisutussüsteemideta ja sel juhul on tegu veega limiteeritud potentsiaalse saagikusega ehk sademete toitelise saagikusega.

Saagilõhe analüüsimisel kasutatakse järgmiseid termineid:

- **Keskmine saagikus** (*average yield*, Y_a , ühik t ha⁻¹) on tootmispõldudel tegelikult koristatud saak hektari kohta. Keskmine saagikus arvestatakse konkreetse põllumajanduskultuuri kohta piiritletud ajal ja piirkonnas. (van Ittersum jt 2013: 5)
- **Saagilõhe** (*yield gap*, YG, ühik t ha⁻¹) on potentsiaalse saagikuse (Y_p) ja tegeliku keskmise saagikuse (Y_a) vahe (van Ittersum jt 2013: 5).

$$YG = Y_p - Y_a \quad (1.1)$$

kus YG on saagilõhe t ha⁻¹;

Y_p – veega limiteeritud potentsiaalne saagikus t ha⁻¹;

Y_a – kindla kultuuri tegelik keskmine saagikus piiritletud tootmispiirkonnas.

Võrreldavuse jaoks võib saagilõhet väljendada protsendina keskmisest saagikusest (Fischer jt 2009: 5) ehk suhtelise saagilõhena.

$$YG\% = \frac{(Y_p - Y_a)}{Y_a} * 100\% \quad (1.2)$$

kus YG on suhteline saagilõhe %;

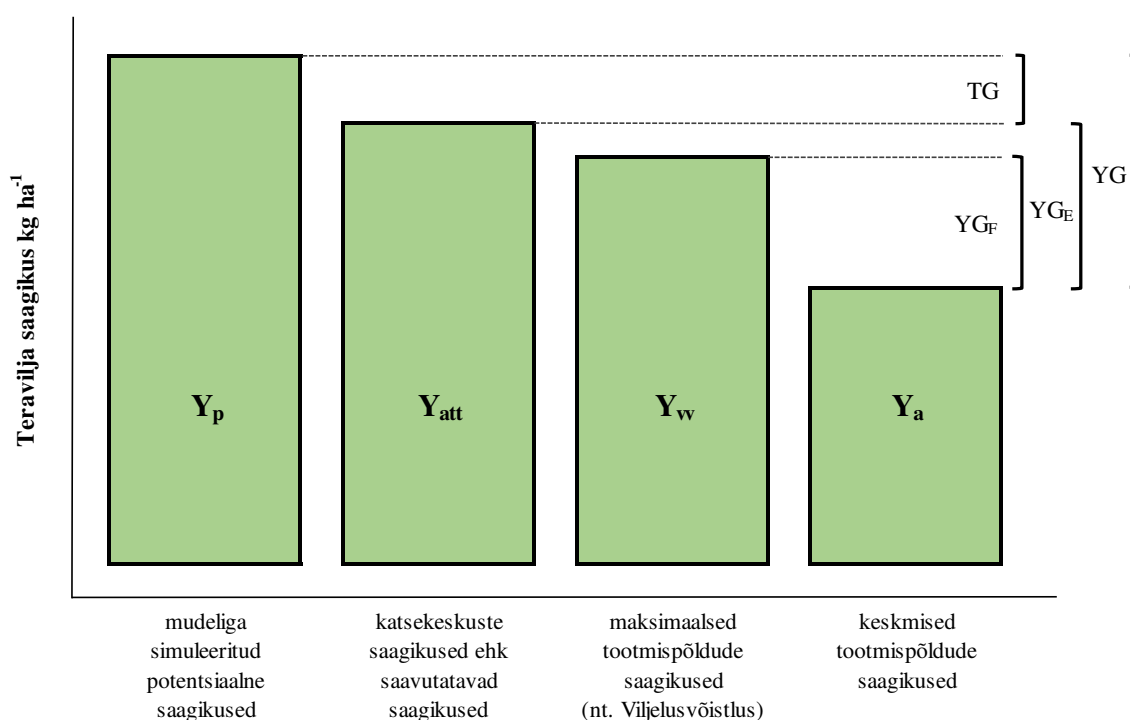
Y_p – veega limiteeritud potentsiaalne saagikus t ha⁻¹;

Y_a – kindla kultuuri tegelik keskmine saagikus piiritletud tootmispiirkonnas.

- **Potentsiaalne saagikus** (*potential yield*, Y_p , ühik t ha⁻¹) on põllumajanduskultuuri maksimaalne võimalik saagikus, mille kasvades ei ole puudust veest, päiksevalgusest ega toitainetest ning mis ei ole saanud kahjustada haigustekitajate ega kahjurite poolt. (Evans 1996, viidatud: Lobell jt 2009: 3 vahendusel)
- **Veega limiteeritud potentsiaalne saagikus** (*water-limited potential yield*, Y_w , ühik t ha⁻¹) on põllumajanduskultuuri potentsiaalne saagikus, kui maksimaalne võimalik saagikus on piiratud tulenevalt veega varustatusest, mullatüübist (selle veemahutavusest ja juurdumise sügavusest) ja põllu topograafiast. Niisutamata aladel võrdub potentsiaalne saagikus veega limiteeritud potentsiaalse saagikusega. (van Ittersum jt 2013: 5)
- **Saavutatav saagikus** (*attainable yield*, Y_{att} , ühik t ha⁻¹) on maksimaalne võimalik saagikus, mis on saavutatud kasutades parimat olemasolevat tehnoloogiat. Tavaliselt on selleks katsekeskustes saadud saagikused, kus on kasutatud parimaid väetuspraktikaid ja taimekaitsevahendeid. (Liu jt 2015: 457)

Saagilõhe leidmisel võetakse aluseks võimalikud tegelikud saagikused, millele soovitakse konkreetsel ajahetkel või perioodil hinnangut anda. Üldjuhul on selleks eespool nimetatud keskmine saagikus, kuid selleks võib olla katsepõldude keskmine saagikus, viljelusvõistluste keskmine või maksimaalne saagikus, tootjapõldude maksimaalne saagikus jne. Saagilõhet saab arvutada riigi, haldusüksuse või ka ühe põllumajandustootja tasandil.

Lisaks potentsiaalse ja tegeliku keskmise saagikuse vahelisele saagilõhele (YG) on võimalik leida ka kasutatav saagilõhe YG_E , tehnoloogiline lõhe TG, tootjapõldude saagilõhe YG_F (joonis 1.1), mõnede autorite poolt eristatav saagikuse lõhe (CYG) jne.



Joonis 1.1. Erinevad saagilõhed: YG – Simulatsioonimudelitel põhinev saagilõhe, YG_E – Katsepõldude saagikustel põhinev saagilõhe ehk kasutatav saagilõhe, Y_{GF} – Põllumajandustootja saagilõhe, TG – Tehnoloogia lõhe (Lobell jt 2009: 7; autori täiendatud)

Eelmainitud saagilõhe tüübid tuuakse välja järgmiselt:

- **Kasutatav saagilõhe** (*exploitable yield gap*, YG_E , ühik t ha⁻¹) on saavutatava saagikuse (Y_{att}) ja keskmise saagikuse (Y_a) vahe.

$$YG_E = Y_{att} - Y_a \quad (1.3)$$

kus YG_E on kasutatav saagilõhe t ha⁻¹:

Y_{att} – saavutatav saagikus t ha⁻¹;

Y_a – kindla kultuuri tegelik keskmine saagikus piiritletud tootmispiirkonnas t ha⁻¹.

- **Põllumajandustootja saagilõhe** (*farmer-based yield gap*, YG_F) on tootmispõldudel saadud maksimaalse saagikuse (Y_{vv}) ja keskmise saagikuse vahe (Y_a). (Lobell jt 2009: 7)

$$YG_F = Y_{vv} - Y_a \quad (1.6)$$

Kus YG_F on põllumajandustootja saagilõhe $t\ ha^{-1}$;

Y_{vv} – tootmispõldude maksimaalne saagikus $t\ ha^{-1}$;

Y_a – kindla kultuuri tegelik keskmine saagikus piiritletud tootmispiirkonnas $t\ ha^{-1}$.

- **Saagikuse lõhe** (*crop yield gap*, CYG , ühik $t\ ha^{-1}$) on potentsiaalse saagikuse (Y_p) ja saavutatava saagikuse (Y_{att}) vahe. (Liu jt 2015: 457)

$$CYG = Y_p - Y_{att} \quad (1.4)$$

Kus CYG on saagikuse lõhe $t\ ha^{-1}$;

Y_p – veega limiteeritud potentsiaalne saagikus $t\ ha^{-1}$;

Y_{att} – saavutatav saagikus $t\ ha^{-1}$.

- **Tehnoloogia lõhe** (*technology gap*, TG , ühik $t\ ha^{-1}$) on vahe maksimaalse võimaliku saagikuse (Y_p) ja kõrgeima saavutatud saagikuse (Y_{att}) vahel. (Biswas jt 2016: 1280)

$$TG = Y_p - Y_{att} \quad (1.5)$$

Kus TG on tehnoloogia lõhe $t\ ha^{-1}$;

Y_p – veega limiteeritud potentsiaalne saagikus $t\ ha^{-1}$;

Y_{att} – saavutatav saagikus $t\ ha^{-1}$.

Saagikuse lõhe ja tehnoloogiline lõhe iseloomustavad sama lõhet, kuid erinevate autorite poolt on tähistatud erinevalt. Tegu on saagikust määravate tegurite (lisa 1) poolt põhjustatud lõhega. Katsepõldudel on taimekasvuks proovitud luua kõige ideaalilähedasemad tingimused ja juhul kui esineb vahe potentsiaalse saagikuse ja katsepõldudel saavutatud saagikuse vahel, siis seda vahet põhjustavad mõjurid on meist olenematult päikesekiirus, temperatuur, CO_2 , kultuuri sordiomadused. Viimane tegur on ainukesena mõjutatav, kuid seda pikemas perspektiivis läbi teadus- ja aretustöö. Antud töös edaspidi käsitletakse potentsiaalse ja saavutatava saagikuse vahele jäävat lõhet tehnoloogia lõhena.

Kõige parema suunise annab tootajale nn kasutatav saagilõhe (*exploitable yield gap*, YGE), mille leidmisel on aluseks võetud reaalselt saavutatav saagikus (*attainable yield*, Y_{att}). Eestis esindavad saavutatava saagikuse väärtusi viljelusvõistluste maksimaalsed tulemused ja katsekeskuste sordikatsete tulemused. Saagilõhe uurimine võimaldab prognoosida nisu

saagikuse suurendamise potentsiaali ja seda põhjustavaid piiravaid tegureid (Liu jt 2015: 457).

Kõige suurem on saagilõhe tegelike ja potentsiaalsete saagikuste vahel, mis sisaldab endas kasutatavat saagilõhet, mis omakorda sisaldab endas põllumajandustootja saagilõhet: $YG \geq YG_E \geq YG_F$ (joonis 1.1). Liites tehnoloogia lõhe kasutatava saagilõhega saame saagilõhe $YG = TG + YG_E$, kuid antud seos kehtib, kui arvutused on tehtud samade andmetega.

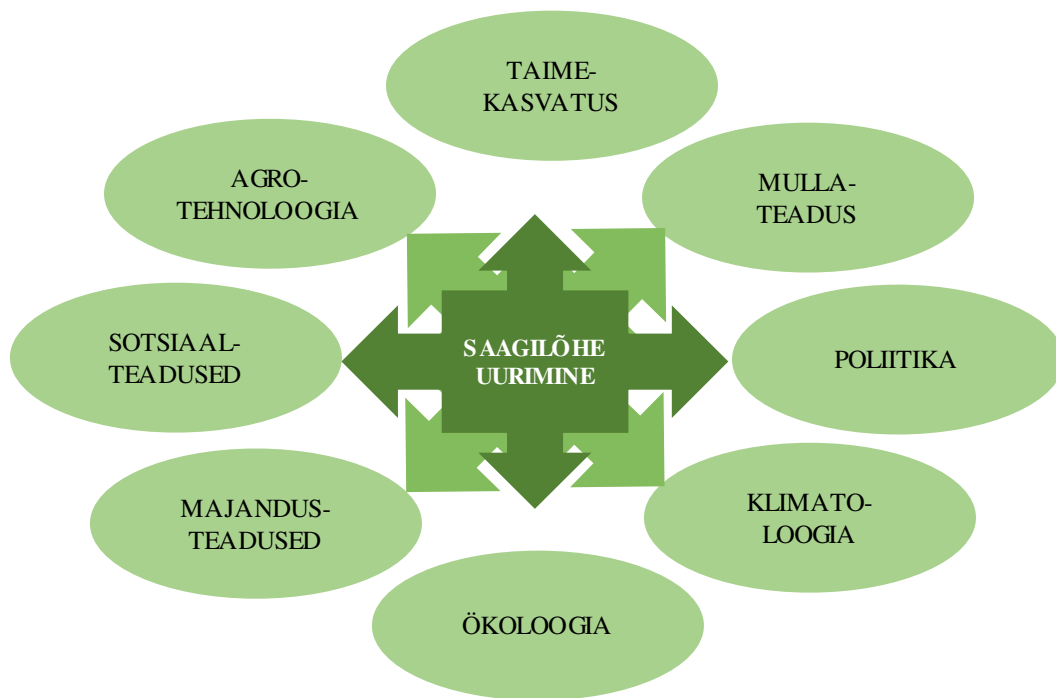
Madamale tasemele jääv kasutatav saagilõhe (YG_E) on suuresti selgitatav põllumajandustootjate info kättesaadavuse ja tehnoloogiliste võimalustega. Kõrgemale tasemele jääv saagikuse ehk tehnoloogia lõhe (TG) peegeldab teadusuuringute võimalusi ja laiemalt poliitika ning institutsioonide kitsendusi. (Fischer jt 2009: 6)

Lisaks eeltoodud valikutele, kuidas saagilõhet arvutada, on kirjandusest leitav ka **majanduslikult saavutatav saagikus** (*economically attainable yield*). See on tootja optimaalne võimalik saagikus antud turuhindade ja -tingimuste juures, mille puhul kasum on maksimaalne. (Fischer jt 2009: 6)

Saagilõhe arvutamine on oluline paljudel tasanditel. Saagilõhe arvutamise esmaseks eesmärgiks globaalsel tasandil on toidutootmise potentsiaali hindamine. Saagilõhe võimaldab hinnata taimekasvatuse sektori võimalikku juurdekasvu potentsiaali. Kui lähtuda ajaloolistest andmetest, siis piisab tegelike saagikuste trendijoone arvestamisest ja saab arvutada võimaliku toidutootmise taseme 30 aasta pärast ja ka võimaliku potentsiaalse saagikuse samal ajal. Potentsiaalne saagikus on teoreetiline suurus, mille tulemuse mõjutavad ilmastikutingimused ja sordiomadused. Potentsiaalse saagikuse arvutamine võimaldab hinnata ka sordiaretuse taset ning selle dünaamikat.

Saagilõhe uurimise eesmärgiks kohalikul tasandil võib ka olla toidutootmise potentsiaali hindamine, kuid eesmärgid võib olla erinevaid. Saagilõhe seisukohast saab uurida tootlikkust, efektiivsust, poliitiliste otsuste mõju, agrotehnoloogiat, sordiomadusi, juhtimisstrateegiaid jne. Valdkondi, mille piirimal saagilõhe uurimine aset leiab, on väga erinevaid (joonis 1.2). Tulenevalt uurimise tasandist on erineva lähenemisviisiga mudeleid, mille abil saagilõhet arvutada. Globaalsed mudelid regioonide ja kogu maailma saagilõhe leidmiseks ning kohaliku ulatusega mudelid väiksemate piirkondade kuni konkreetse põllumajandustootja saagilõhe leidmiseks. Kohaliku tähtsusega saagilõhe uurimise eesmärgiks põllumajandustootja tasandil võib olla juhtimisotsuste tähtsuse hindamine. Enamus

mudeleid juhtimisotsuseid (*management*) arvutustesse ei kaasa, kuid kontseptsiooni tundmine võimaldab põllumajandustootjal endal hinnata nende tähtsust.



Joonis 1.2. Tähtsamad valdkonnad, mille piirimal saagilõhet uuritakse (Meffe jt 1997: viidatud: Snyder jt 2016: 12 vahendusel; autori täiendatud)

Globaalsed mudelid on üldistavad ja pakuvad saagilõhe andmetega katvust üle maailma. Kohaliku ulatusega uurimistööd keskenduvad rohkem kohaspetsiifilistele keskkonnatingimustele ja juhtimispraktikatele, mis on kohaliku tähtsusega ja kasutatavad kohalikul tasandil, kuid raskesti võrreldavad teiste piirkondade ja uurimistöödega, kuna puudub ühtne terminoloogia ja meetodid. Kohaliku ulatusega on järgmised meetodid: (1) põldkatsed, (2) viljelusvõistlused, (3) tootmispõldude maksimaalsed saagikused, (4) kultuuride kasvatamise simulatsioonimudelid. (van Ittersum jt 2013: 7)

Kohaliku ulatusega meetodite miinuseks on asjaolu, et on võimatu elimineerida kõiki abiootilisi ja biootilisi mõjureid (*abiotic and biotic stresses*) ning teha seda järjekindlalt läbi aastate. Samuti tuleb jälgida piirkonna jaoks optimaalseid külvi- ja kasvuaegu, et antud tulemused oleksid uuringutes arvestatavad. (van Ittersum jt 2013: 7)

Mitmetes uurimistöodes tuuakse saagilõhe arvutamise kõige nõrgema kohana välja puudulikke andmeid tootja poolt saadud tegeliku saagikuse kohta (van Ittersum jt 2013: 11; Sadras jt 2015: 10). Globaalse lähenemisega mudelite jaoks puuduvad paljude riikide kohta

saagikuse andmed, mis võimaldaksid leida väiksemate piirkondade saagilõhed (näiteks vald ja maakond). Samuti puuduvad andmed, millises ulatuses on kasutatud niisutussüsteeme. Saagilõhe uurimise seisukohalt annavad parima tulemuse võimalikult täpsed tegelikud andmed, ts saagikuse, ilmastiku ja mullastiku andmed.

Eestis teostab põldkatseid Põllumajandusuuringute Keskus kolmes katsekeskuses ja -jaamas: Viljandis, Kuusikul ja Võrus. Lisaks viiakse katseid läbi ka Eesti Taimekasvatuse Instituudi Jõgeva Sordiareture osakonnas. Katsetes hinnatakse kultuuride viljelusväärtust Eesti tingimustes, selle eesmärgi täitmiseks mõõdetakse kultuuri saagikust, haiguse- ja talvekindlust (Riiklike... 2016: 5). Eesti tasandil ehk kohalikul tasandil on võimalik arvutada saagilõhe katsekeskuste maksimaalsete saagikuste (ehk saavutatavate saagikuste) ja tootmispõldude keskmiste saagikuste vahel. Katsekeskuste maksimaalsed saagikused peaksid olema ligilähedased simulatsioonimudelitel abil leitud potentsiaalsetele saagikustele.

Alates 2005. aastast korraldatakse Eestis Viljelusvõistlust, kus põllumajandustootjad võistlevad erinevate kultuuride tootmispõldudega. Viljelusvõistlus iseloomustab kõige enam saagilõhe ja potentsiaalse saagikuse lokaalset lähenemist, kuna võistluspõldudel kasutatakse meie piirkonnale omaseid tehnoloogiaid ja juhtimispraktikaid. Viljelusvõistluste maksimaalsete saagikuste ja tootmispõldude keskmiste saagikuste vahe on põllumajandustootja saagilõhe.

See on ainulaadne saagikuse võistlus Eestis, mille eesmärgiks on julgustada tootjaid katsetama uuenduslikke viljelustehnoloogiaid, sorte ja taimekaitsevahendeid. Analoogset võistlust hakati Soomes korraldama 1995. aastal (*SatoKisa*), et parandada taimekasvatajate konkurentsivõimet Euroopa turul (Viljelusvõistlus 2014: 7). Viljelusvõistlusel mõõdetakse tulemustena saagikust, saagi kvaliteeti ja arvestuslikku kasumit (Sealsamas: 4). Seega toetab antud üritus jätkusuutliku intensiivistamise ja saagilõhe vähendamise ideed, kuna lisaks suurele saagile tuleb tagada selle kvaliteet ja kindlustada kasumlikkus ettevõttele. Lisaks võistlejatele saavad Viljelusvõistluse lõpukonverentsil kõik huvitunud tutvuda hooaja jooksul kogutud infoga võistluspõldude mulla, agrotehnika, taimekaitse ja sortide kohta. Viljelusvõistlust võib pidada üheks kogemuste vahetamise vormiks. (Sealsamas: 5)

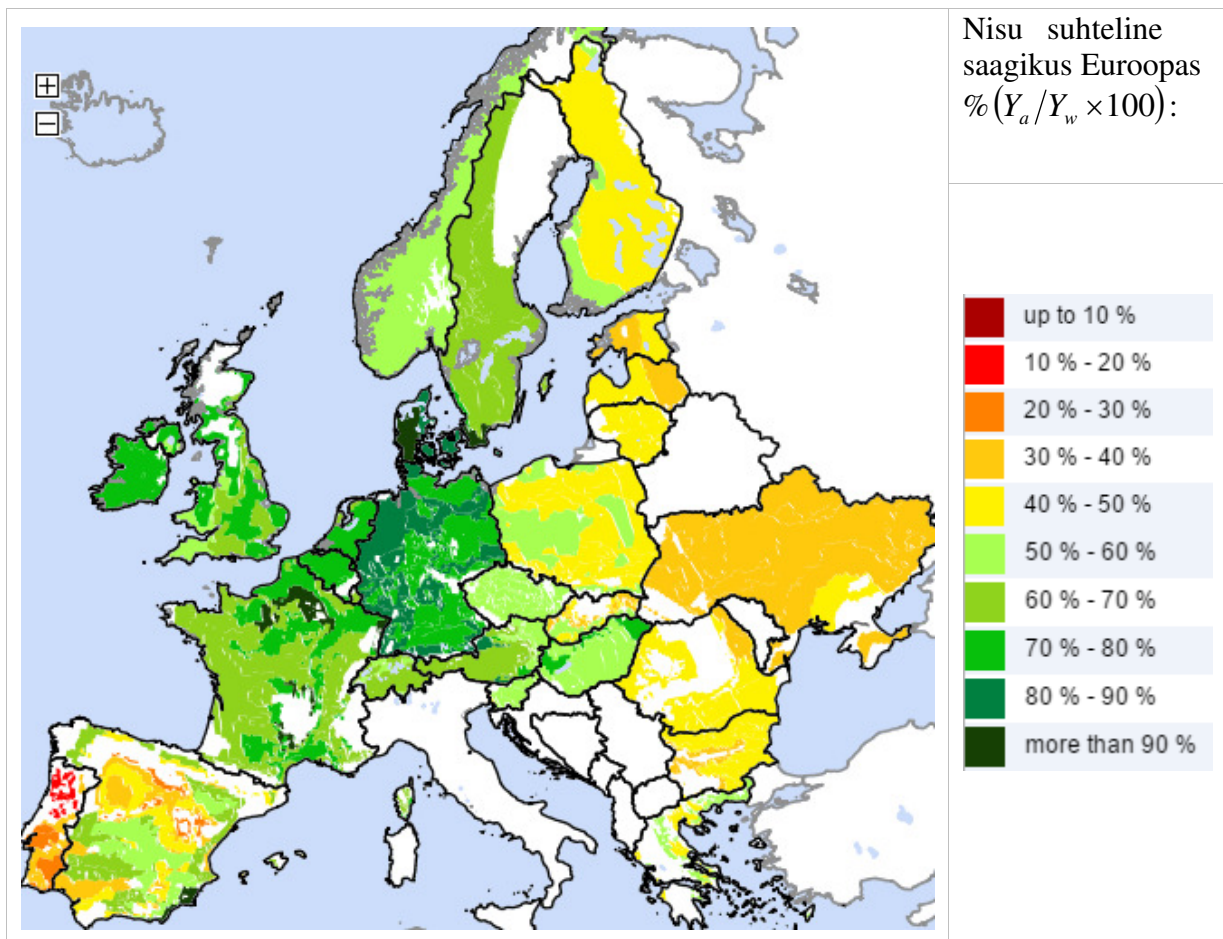
Lisaks kõrgeimale saagikusele mõõdetakse Viljelusvõistlusel ka arvestuslikku kasumit, milleks lahutatakse hektari kogutuludest hektari otsesed ja kaudsed kulud. Toetusi arvesse ei võeta. Kulude ja tulude arvestamisel võetakse aluseks ühtsed sisendite ja toodangu hinnad,

seega siin ei määra kasumit madalamad sisendite hinnad vaid peegeldub agronoomide oskus teha töid optimaalsel ajal ja saada kõrget saaki väiksemate kuludega (Viljelusvõistlus 2014: 15). Saadud kasum/kahjum näitab ära, kas valitud tehnoloogiaga saavutatud saagikus oli majanduslikult optimaalsel taemel, seega on võimalik Viljelusvõistluse tulemuste põhjal leida ka majanduslikult saavutatav saagikus (*economically attainable yield*). Lisaks tehakse kokkuvõtte võistluspõldude mullastikust, eelviljadest, tehtud mullaharimise töödest, kasutatud väetistest ja taimekaitsevahenditest. Viljelusvõistluse tulemuste kokkuvõtte on omamoodi ülevaade saagikust piiravatest ja vähendavatest teguritest (joonis 1.4, lk 17).

Viljelusvõistluse tulemusi võiks pidada tootmiste kontrollnäitajaks. Ajavahemikul 2005-2014 toimunud Eesti Viljelusvõistluste 66 võistluspõllu talinisu keskmine saagikus oli 7,10 t ha⁻¹ ja 11 võistluspõllu suvinisu keskmine saagikus oli 5,42 t ha⁻¹ (Viljelusvõistlus 2014: 13). Erinevates uurimistöodes on nimetatud optimaalse saagitaseme kontrollnäitajaks (*benchmark*) ka saagitaset 70-80% potentsiaalsest saagikusest.

Saagilõhe sulgemise eesmärk ei ole sisendite suurendamine vaid olemasolevate võimaluste maksimaalne ärakasutamine. Erinevad autorid on ka rõhutanud, et jõudes saagikusega 75-80%-ni potentsiaalse saagikuse tasemest, ei ole majanduslikult optimaalne enam saagikust tõsta (Lobell jt 2009: 19; Fisher jt 2009: 21). Euroopa suuresaagilistes riikides (joonis 1.3) räägitakse ka saagikuse stagnatsioonist alates üheksakümnendate keskpaigast (Brisson jt 2010: 212). Finger (2010: 179) oma töös toob selle põhjuseks Euroopa Liidus kehtestatud ühise põllumajanduspoliitika (*Common Agricultural Policy, CAP*) piiravad nõuded, mis on endaga kaasa toonud saagikuse kasvu aeglustumise EL riikides ja saagikuse stabiliseerumise (*leveling-off*).

Joonisel 1.3 võime näha, et vastavalt GYGA mudelile asub Eesti oma tegeliku saagikusega 40-50% veega limiteeritud potentsiaalsest saagikusest ehk nisu suhteline saagikus Eestis võrreldes potentsiaalsega on 40-50%. Samas näiteks väga tugevad toidunisu kasvatajad Inglismaa ja Prantsusmaa jäävad suhteliselt saagikuselt vahemikku 50-90%, enamuses pindalast siiski 60-80%.



Joonis 1.3. Nisu suhteline saagikus Euroopas ehk tegelik saagikus võrreldes veega limiteeritud potentsiaalse saagikusega (GYGA)

Saagilõhe arvutamisel ülempiiriks jäävat potentsiaalset saagikust saab lisaks simulatsioonimudelitele ja katsepõldude andmetele ka arvutada läbi vee tootlikkuse näitaja. Iga taim vajab kasvuperioodi jooksul kindlat hulka vett, et saaks moodustada kindla hulga saaki. MES nõuandeteenistuse infomaterjalide kohaselt talinisu ja suvinisu transpiratsioonikoefitsient (vee hulk grammides, mida on vaja 1 grammi kuivaine moodustamiseks) on 450-500. Suviödral on sama näitaja 350-450 ja kaeral on 500-600. Vee koguse arvutamiseks mullas peab arvestama väga mitmete näitajatega, mis on ära toodud lisas 2.

Vee tootlikkus (*water productivity*, WP) on suhe saagi teramassi ja kasvuperioodi veevarustuse vahel. Vee tootlikkust arvestatakse kultuuridel, mida ei kasvatata niisutussüsteemidega. (GYGA) Vee kasutamise efektiivsust on võimalik parandada läbi kindlate agronoomiliste praktikate. Antud töös seda potentsiaalse saagikuse leidmise viisi ei analüüsita.

Saagilõhe uurimist ja saagilõhe sulgemise praktikaid saab pidada jätkusuutliku intensiivistamise (*Sustainable intensification*) üheks osaks. Jätkusuutliku intensiivistamise all mõeldakse toodangu suurendamist tootmisühiku kohta samaaegselt vähendades sisendite kogust ning minimeerides survet keskkonnale (Tittonell 2014: 53). Euroopa Liidus on välja töötatud Hea põllumajandustava (*Good Agricultural Practice*), kuhu on koondatud õigusaktidega määratud keskkonnanõuded ja soovituslikud juhised (Hea... 2007: 7). See on kogumik on sümbioos erinevates nõuannetest, mille eesmärk on säästlikult ja keskkonnasõbralikult toota, kuid sisaldab palju nõuandeid tootmise parandamiseks.

1.2. Saagilõhet mõjutavate tegurite ülevaade

Saagilõhe arvutamiseks lahutades potentsiaalsest saagikusest tegelik saagikus (valem 1.1). Saagilõhe tasand oleneb sellest, milliseid saagikusi arvutustes kasutatakse. Seega lõhet ennast mõjutavad tegurid on kaudsed:

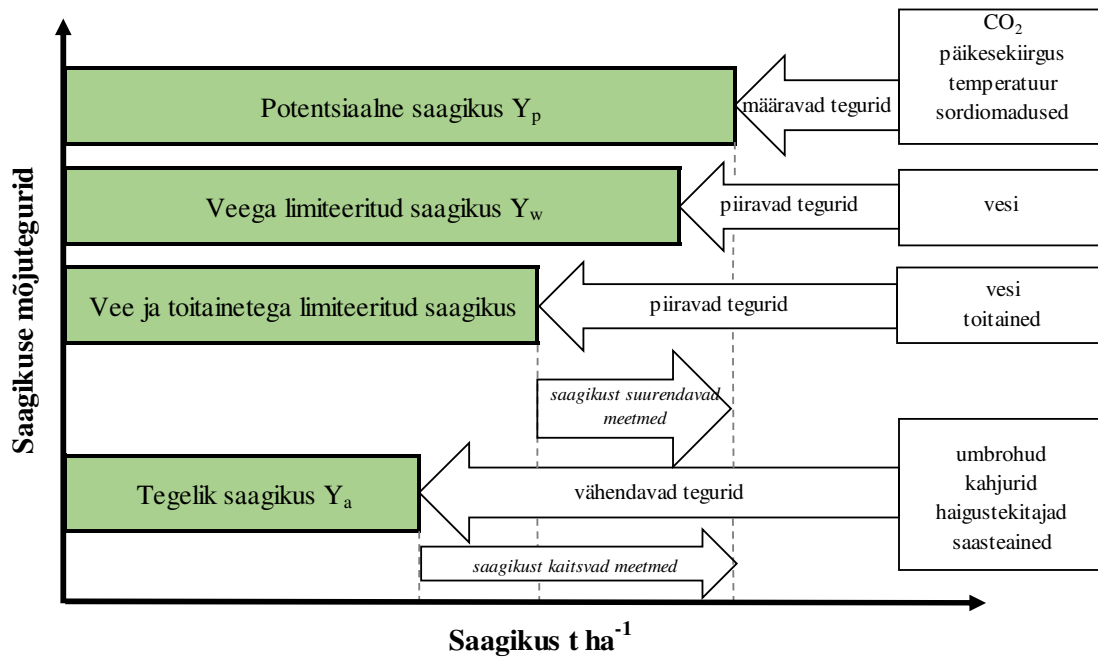
- potentsiaalset saagikust mõjutavad tegurid;
- tegelikku saagikust mõjutavad tegurid;
- saavutatavat saagikust mõjutavad tegurid;
- katsekeskuste saagikust mõjutavad tegurid; jne.

Kõige suurem ja inforohkem uurimistasand on tegelikku saagikust mõjutavad tegurid. Kõik tegurid, mis põllumajandustootja saagikust piiravad ja vähendavad: tootja ehk ettevõtja enda oskused ja tõekspidamised, töötajate kvalifikatsioon, keskkonnapiirangud, seadusandlus, väetiste ja taimekaitsevahendite valik ning hinnad, kasvatatavad sordid, põllumuld, kasutatav agrotehnoloogia, olemasolev masinapark, umbrohud, haigustekitajad, kahjurid jne (Fisher jt 2009: 22). Antud loetelu on üldistav ja ei ole lõplik.

Saagilõhe uurimisel on oluline mõista ja kindlaks määrata konkreetse süsteemi, ettevõtte või kultuuri saagikasvu aeglustumise põhjused, leida nende hulgast tegurid, mille mõju soovitud muutumusele on suurim ja hinnata kasu, kui osa mõjuritest või põhjustajates on võimalik elimineerida. Saagilõhe uurimiseks on olemas palju erinevaid meetodeid ja lähenemisviise, kõigil oma eelised ja puudused. (Lobell jt 2009: 16)

Titonelli, Giller (2013: 78) ning van Ittersum jt (2013) jagavad saagilõhet mõjutavad tegurid kolme gruppi: määravad, piiravad ja vähendavad tegurid (joonis 1.4. Nende tegurite

tundmine võimaldab teha konkreetse tootja muldade ja ilmastikutingimustele vastavaid tootmisotsuseid. Samad tegurid võivad samaaegselt esineda kõikides tegurirühmades, kuid ei pruugi. Saagilõhe vähendamiseks on võimalike lahendustena välja toodud paremad sordid, mullaviljakust säästev põllumajandus, krediidi kättesaadavus, integreeritud kahjuri- ja haigustõrje, mulda parandav viljavaheldus ja infrastruktuuri parandamine (Snyder jt 2016: 6).



Joonis 1.4. Saagikuse tasemed ning seda mõjutavad tegurid (van Ittersum jt 2013, 6; van Ittersum, Rabbinge 1997: 200)

Saagikust määravad tegurid. Potentsiaalset saagikust üldjuhul määravad tegurid on CO₂, ilmastikutingimused (päikesekiirgus, temperatuurid), sordiomadused. Määravaid tegureid tootja üldjuhul mõjutada ei saa. Kliimamuutused, nagu suurenenud temperatuurid, CO₂ kontsentratsioon atmosfääris ja sademete hulk on suurimad saagikuse mõjutajad (Tittonell, Giller 2013: 78).

Sordiomadusete muutumine on pika protsessi tagajärg. Määravate tegurite alla jäävad sordiomadused nagu näiteks arengumäärad, kasvumäärad, taime morfoloogia ja kvaliteedi omadused (Sealsamas: 78).

Saagikust piiravad tegurid. Veega limiteeritud saagikuse puhul on kõige enam piiravateks sademed, mullastik ja selle veerežiim (lisa 2). Kõige vähem saab tootja minimeerida neid riske, mille üle puudub kontroll.

Peamised saagi suurust mõjutavateks teguriteks on lämmastik ja vesi, kuid lämmastikväetise efektiivsust mõjutab omakorda taimele kättesaadav vesi. Seega veestressis olles ei ole lämmastik enam mõjutav tegur, kuna taim ei suuda seda omastada. (Liu jt 2015: 458; Lemaire jt 2008: 614) See on ka üks põhjusi, miks esimesena uuritakse veega limiteeritud potentsiaalset saagikust ja mitte aga toitainetega limiteeritud saagikust. Kuid normaalse veerežiimi tingimustes ja madala lämmastikväetise taseme juures on lämmastik domineerivam tegur kui ilmastik (Liu jt 2015: 461). Lisaks kogusele on oluline vee ja toitainete ajastamine: mõlemad peaksid taimedele olema õiges koguses ja õigel ajal kättesaadavad (Beza jt 2017: 216).

Sademete toitelise saagikuse (*rain-fed yield*) puhul saame ainult tõsta vee kasutamise efektiivsust rakendades selleks erinevaid agrotehnilisi võtteid nagu näiteks minimeeritud harimine, õige külviaeg ja sügavus, põldude rullimine jne. Lisaks on saagikust piiravateks ka sordi põuataluvus ja toitainete efektiivne omastamisvõime (Tittonell, Giller 2013: 78). Teiselt poolt, kui on tegu liigniiske alaga, siis on oluline toimiva kuivendussüsteemi olemasolu ja harimispraktikad, mis ei tekita mullatihet.

Saagikust vähendavad tegurid. Vähendavate tegurite üle on tootjal kõige suurem kontroll. Kõige suurem osa on siin juhtimisotsustel nagu taimekaitsetööd, külvikord, väetamine, harimispraktikad, tööde ajastamine. Saagikust vähendavad ka keskkonnatingimused, mis soodustavad kahjurite ja haiguste levikut ning näiteks valitud sordid, mis on haigustele vastuvõtlikud. (Sealsamas: 78)

Saagilõhet vähendavaid ehk saagikust suurendavaid põhjuseid ja sellega seotud valdkondi on palju (joonis 1.3). Mudelite kõige vähem uuritud osaks on põllumajanduse kui tootmisviisi mõjutajad nagu näiteks põllumajanduspoliitika, kaubandus, haridus, pangandus, tehnoloogia jne. Näiteks võib olla madala lämmastikutaseme taga väetise piiratud kättesaadavus ning orgaanilise väetise kasutamise võimaluse puudumine. Ainult pooled globaalsetest saagilõhe uurimistöödest mainivad sotsiaalmajanduslikke aspekte, kuid veel väiksemal osal on need mudelitesse tegurina kaasatud. (Snyder jt 2016: 6)

Tittonell ja Giller (2013) on oma töös välja jättnud majanduse, sotsiaalteaduste, poliitika mõjutegurid saagikusele. Beza jt (2017: 209) on selgitanud, et saagikust ja potentsiaalset saagikust mõjutavaid sotsiaal-majanduslikke faktoreid osatakse nimetada, kuid nende kaasamine mudelitesse ja mõju ning tähtsuse hindamine on keeruline.

Näiteks samas piirkonnas asuvatele põllumajandustootjatele kehtivad sisendite hinnad, piirangud ja võimalused võivad suurel määral erineda. Erinevusteks võivad olla ettevõtte suurus, krediidi- ja sisendite kättesaadavus, energiaallikate valik. Kuid osa saagilõhest võib samaaegselt olla põhjustatud konkreetse asukoha eripäradest ning põllumajandustootjate piiratud ressurssidest ja hindadest. (Fischer jt 2009: 6)

1.2.1. Potentsiaalse saagikuse arvutamise erinevaid lähenemisviise

Potentsiaalne saagikus on pigem üldine ettekujutus kui kvantitatiivne suurus. Selle kontseptsiooni kohaselt kasvab taim ideaalsetes tingimustes ja saagi määrajaks on looduslikud tegurid: päikesevalgus, temperatuur, CO₂ ja sordiomadused. Potentsiaalne saagikus on teoreetiline suurus, mille tõepärasust saab hinnata maksimaalsete katsetulemustega võrdlemisel.

Potentsiaalse saagikuse simuleerimiseks on tarvis minimaalset andmehulka, mis varieerub mudelite kaupa, aga tavaliselt sisaldab järgmisi muutujaid: päevast maksimum ja miinimum õhutemperatuuri taimepealsete kõrgusel, päikeseikiirgust, sademeid, suhtelist õhuniiskust, külvi-kuupäeva ja seemne külvamise sügavust või tärkamise kuupäeva, genotüübiliselt spetsiifilisi ja fotosünteesilisi fenoloogilise arengu koefitsiente sordile või hübriidile, taimekasvu tihedust. Veega limiteeritud potentsiaalse saagikuse arvutamisel peab mudelis olema sisestatud sisenditena ka mullastruktuur, esialgne niiskuse tase ja efektiivne juurdumissügavus. Informatsioon toiteainetevaru ja taimekahjustajate kohta ei ole vajalik, sest eeldatakse, et need saagikust ei piira. (Lobell jt 2009: 5-6)

Minevikus on potentsiaalne saagikus ja tulenevalt sellest ka tegelik saagikus oluliselt kasvanud tänu sordiaretusele ja paranenud täna agrotehnooloogilistele võtetele, mis omakorda on ajendanud keskmise saagikuse tõusu. Kuid tulevikus sõltub potentsiaalse saagikuse kasv pigemini sordiaretusest kui uutest arengutest agronoomias. (Fischer jt 2009: lk 24)

1.2.2. Potentsiaalse saagikuse leidmise GYGA meetod

Bakalaureusetöös kasutatav saagilõhe arvutamise viis tugineb Globaalse Saagilõhe Atlase (*Global Yield Gap Atlas*, GYGA) mudelile. GYGA projekti eesmärk on hinnata peamiste toiduviljade saagilõhet kõigis maailma põllumajanduslikes piirkondades, põhinedes kohalikul tasandil kogutud andmetele.

GYGA saagilõhe metoodika loodi järgmistel põhjustel:

- erasektori ja avaliku sektori investeeringute suunamine teadus- ja arendustegevustesse;
- globaalsel ja riiklikul tasemel toiduga isevarustatuse taseme ja toidu tootmise potentsiaali hindamine ning ilmastiku muutumisest tuleneva toitudtootmise mahu varieeruvuse hindamine;
- ajalooliste saagikuste trendide tõlgendamine ja saagikuste trendide tulevikuprojektsioon globaalsel, regionaalsel ja kohalikul tasemel.

GYGA kasutab meetodeid, mis on muudetud võimalikult läbipaistvateks, korratavateks ja mis baseeruvad parimal kättesaadaval teadusteabel. GYGA eristub teistest globaalsetest saagilõhe arvutamise metooditest kasutades alt üles (*bottom up*) andmetekogumise süsteemi. Atlas kasutab tegelikku asukohaspetsiilist infot viljelussüsteemide ja mulla tüübi kohta ning ilmajaamade kogutud andmeid. Selline lähenemine võimaldab mudeli valideerimist ja mudeli tulemuste parandamist ning kui uusi andmeid avalikustatakse, liita koheselt need olemasolevasse süsteemi.

GYGA protokollis saab eristada järgmisi samme: (1) Homogeensete kliimavöötmete valik; (2) Ilmajaamade valik puhvertsoonides; (3) Tegelik saagikusandmete arvutustesse kaasamine; (4) Ilmastiku andmete kogumine; (5) GYGA mudeli kalibreerimine, potentsiaalse saagikuse simulatsioonimudel; (6) Viljelussüsteemi ja mullastiku andmete valik.

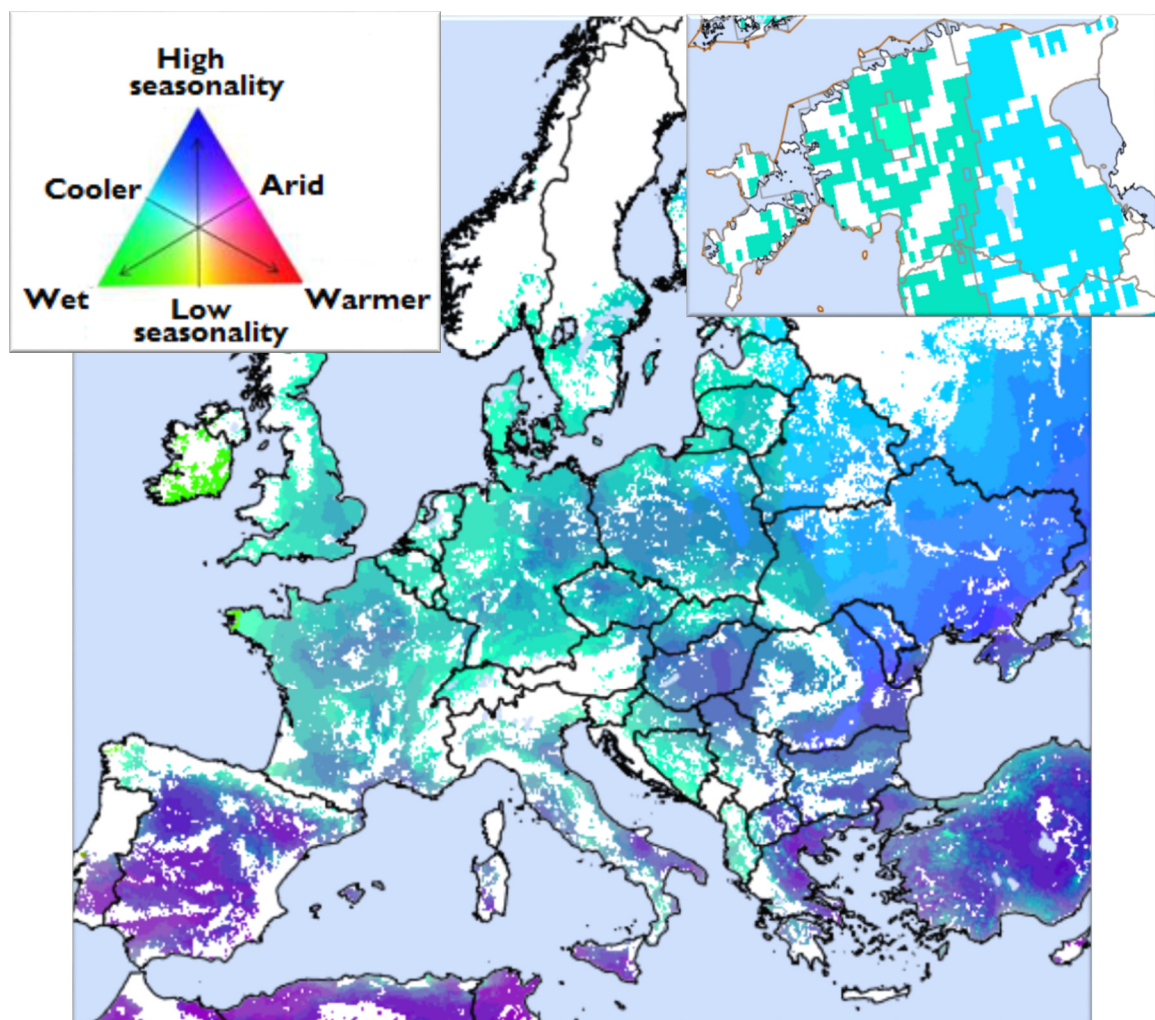
1) Homogeensete kliimavööndite valik

Saagilõhe hinnangud antakse samaaegselt mitmel ruumilisel tasandil:

1. Piiritletud väiksemad alad põllumajanduspiirkondades ehk puhvertsoonid.
2. Suuremad kliimavööndid.

3. Veel suuremad riigisiseseid haldusüksused.
4. Riigid.

GYGA atlas on jagatud agronoomilisteks kliimavöönditeks (*climate zone, CZ*). Need on mullatüübi, ilmastiku, kasvuperioodi ja veerežiimiga geograafiliselt homogeensed piirkonnad (joonis 1.5). Teistest eristuva kliimavööndi minimaalne suurus peab olema vähemalt 5% haritavast pindalast. Kliimavööndite sees on eraldi määratud konkreetset asukohad ehk puhvertsoonid, mis kõige paremini peegeldavad, kuidas konkreetset kultuuri nendes kliima, mullastiku, viljelussüsteemi (*cropping system*) tingimustes toodetakse. Üldjuhul on need asukohad varustatud ilmajaamade andmetega ca 100 km raadiusest. Ilmajaamade mõõtmistulemustega peab olema kaetud vähemalt 50% riigi haritavast maast. (GYGA)



Joonis 1.5. GYGA kliimavööndid Euroopas (GYGA)

Eesti on jagatud kaheks suuremaks kliimavööndiks, mis jagab riigi vertikaalselt kaheks. Väiksem osa Rapla maakonnas on eristatud kolmandaks kliimavööndiks. Viimane peaks olema omadustelt niiskem ala võrreldes ülejäänud Eestit katvate vöönditega. Kliimavööndi maatriks koosneb samaaegselt kuuest tegurist ehk kolmest teguripaarist: (1) soojem ja jahedam, (2) põuasem ja märjem, (3) väike ja suur hooajalisus. Väikese hooajalisuse puhul on väike erinevus temperatuurides erinevatel aastaaegadel. Eestis esineb pigem suur hooajalisus. Ida-Eesti on jahedam ja suurema hooajalisusega võrreldes Lääne-Eestiga ja Lääne-Eesti on märjem ning väiksema hooajaliste temperatuuride erinevusega.

2) Ilmajaamade valik puhvertsoonides

Ilmajaamadest kogutakse võimalusel infot vähemalt 20 aasta kohta, mis sisaldab: päeva minimaalseid ja maksimaalseid temperatuure, sademete hulka, niiskuseindekseid (suhteline niiskus, kastepunkti temperatuur, tegelik aururõhk (*actual vapor pressure*), jne) ja päevast päikesekiirgust. Sobilike ilmajaamade puudumise korral tuletatakse puhvertsooni vajalik info homogeense geograafilise piirkonna ilmajaamade põhjal või viimasel juhul kasutatakse NASA poolt kogutud infot. Eestis on kasutatud Tartu ja Pärnu ilmajaamade andmeid. Valitud ilmajaamu, nii tegelikke kui ka tuletatud, nimetatakse etalonilmajaamadeks (*reference weather stations*, RWS). Tuletatud etalonilmajaamu kasutatakse juhul, kui sellega seotud puhvertsooni katvus tegelike ilmajaamadega jääb alla 50% haritavast maast. (GYGA)

3) Tegelikke saagikusandmete arvutustesse kaasamine

Saagilõhe arvutuste jaoks keskmise saagikuse leidmiseks tuleb andmete jaoks valida piisavalt pikk ajaperiood, et jäädvustada ilma muutused ja samaaegselt võimalikult lühike, et ei kajastuks muutused tehnoloogias ja keskkonnas (van Ittersum jt 2013: 5, Sadras jt 2015: 15). Sadrase jt (2015: 15) töös on toodud selliseks ajavahemikuks viis kuni kümme aastat. Raskemate, muutlikumate keskkonnatingimustega piirkondades tuleks võtta pikem aeg ja väiksemate kliimamuutustega aladel lühem periood (näiteks niisutatud piirkonnad ja kultuurid).

Riikides ja regioonides, kus on pikemaajaliselt kogutud statistilist infot kultuuride tegelike keskmiste saagikuste kohta, kasutatakse viimase viie aasta tulemusi. Seda juhul kui selles piirkonnas esineb järske ja tähelepanuväärsemaid muutusi keskmistest saagikustest. Piirkondades, kus on ühtlasemad keskmised saagikused kasutatakse viimase kümne aasta

tulemusi. Keskmised saagikused arvutatakse kõigi puhvertsoonides asuvate etalonilmajaamade kohta eraldi. (GYGA)

Andmete olemasolul kasutatakse kõige uuemaid ja võimalikult detailseid saagiandmeid. Asukoht ja haldusüksuste ulatus võiks võimalikult palju ühilduda etalonilmajaamade puhvertsoonide andmetega. Juhul kui puhvertsooni alale jäävad kahe või enama erineva haldusüksuse tulemused, siis leitakse nende kaalutud keskmine vastavalt koristusala suurustele. Kui väiksematelt haldusüksustelt puuduvad vajalikud saagiandmed, siis kasutatakse üldisemaid saagiandmeid. GYGA atlas arvestab nisu keskmist saagikust 13,5 % niiskusesisalduse juures. (Sealsamas)

4) Ilmastiku andmete valik

Minimaalselt võib kasutada 10. aasta andmed, eelistatult hiljem kui 1983 aasta. Andmetes ei tohi olla suuri järjestikkuseid puudujääke ja vähemalt 80% aasta andmetest peab olema korrektsed. Hilisemate andmete puhul on väiksem tõenäosus, et kliimasoojenemise mõjutused kajastuvad tegelikes saagikustes. Võimalusel koostatakse igapäevased ilmastiku andmed 15-20 järjestikkuse aasta kohta. (GYGA)

Järjestikkuste ja mittetäielike andmete puhul kasutatakse puudulike andmete leidmiseks tuletamist olemasolevate andmete põhjal, kuid kui see ka ei õnnestu, siis kasutatakse NASA (*NASA-POWER Agro Climatic Data*) kogutud ilmastiku andmeid. (GYGA) Atlases on Eesti ilmastiku andmed olemas vahemikust 1998-2014.

5) GYGA mudeli kalibreerimine, potentsiaalse saagikuse simulatsioonimudel

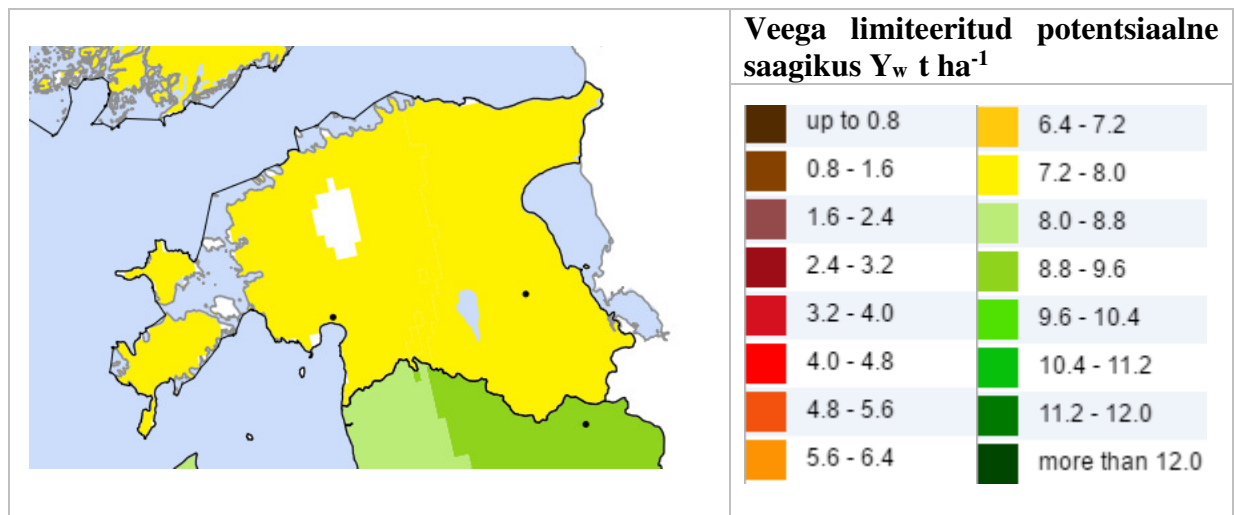
GYGA maksimaalse võimaliku saagikuse arvutamisel Euroopa riikides kasutatakse simulatsioonimudelit WOFOST. WOFOST on kvantitatiivse analüüsi mudel, mis võimaldab arvutada üheaastaste põllukultuuride kasvu ja toodangut. Selle mudeli puhul on tegu dünaamilise, selgitava mudeliga. Praktikas on taime kasv ja toodang ökoloogiliste, tehnoloogiliste ja sotsiaalmajanduslike tegurite koostoimimine. Mudelis kasutatakse ja arvestatakse ainult ökoloogiliste mõjuritega. Tehnoloogilisi ja majanduslikke tegureid mudel ei arvesta. (Boogaard jt 2014: 51)

WOFOST mudelis sõltub potentsiaalne saagikus valitud sordist, külviajast ja ilmastiku andmetest. Veega limiteeritud maksimaalne võimalik saagikus sõltub ka mulla veerežiimist kasvuperioodi jooksul. Põua limiteeriv mõju saagikusele sõltub mulla niiskusest, mis oleneb

sademetest hulgast ja aurustumisest ja nende jaotumisest kasvuperioodi jooksul. Samuti mulla tüübist, sügavusest ja põhjavee mõjutustest. Potentsiaalse saagikuse ja veega limiteeritud potentsiaalse saagikuse vahe näitab toodangu kasvu, mis võiks olla saavutatav niisutussüsteemide kasutusele võtmisega. (Boogaard jt 2014: 52)

Kasutades simulatsioonimudeleid arvutatakse potentsiaalne saagikus iga mullastikutüübi ja puhvertsooni kohta eraldi. Edasi tuletatakse potentsiaalsed saagikused liikudes puhvertsoonist kliimavöötmesse, sealt edasi haldusüksustele kuni jõudes riikide tasandile. Suurema piirkonna potentsiaalse saagikuse arvutamisel kasutatakse piirkonnas esinevate ilmastikuandmete, haritava maa ja mullatüüpide põhjal arvutatud potentsiaalsete saagikuste kaalutud keskmist.

Kuna Eestis kasvatatakse nisu niisutussüsteemideta põldudel, siis on nisu potentsiaalseks saagikuseks mudelis niinimetatud veega limiteeritud potentsiaalne saagikus (*water-limited potential yield*, Y_w , ühik $t\ ha^{-1}$) ehk Eestis võrdub see potentsiaalse saagikusega (*yield potential*, Y_p , ühik $t\ ha^{-1}$). Joonisel 1.6 on kujutatud Eesti nisu potentsiaalne saagikus, mis jääb vahemikku 7,2-8,0 $t\ ha^{-1}$. Kujutatud on piirkonna nisu potentsiaalset saagikust, mis on talinisu ja suvinisu saagikuste kaalutud keskmine vastavalt kasvupindaladele (talinisu 37% ja suvinisu 63%).



Joonis 1.6. GYGA mudelis kujutatud nisu veega limiteeritud potentsiaalne saagikus Eestis (GYGA)

Iga puhvertsoonis asuva ilmajaama andmetel arvutatakse:

1. olemasolevate ilmastiku andmete põhjal pikaajaline keskmine simuleeritud potentsiaalsest saagikusest ja veega limiteeritud saagikusest
2. puhvertsooni tegelik keskmine saagikus valitud ajaperioodil
3. saagilõhe

6) Viljelussüsteem ja mullastiku andmete valik

Mudeli alaosa Viljelussüsteem (*Cropping system*) sisaldab infot selle kohta, mitu saaki saadakse samalt põllult aasta jooksul (viljelus- ehk koristusintensiivsus, *cropping intensity*), iga kultuuri kasvuperiood päevades (päevade arv külvist kuni valmimiseni) ja info niisutussüsteemide kasutamise ulatuse või selle puudumise kohta. Veega limiteeritud potentsiaalne saagikus (Y_w) on tundlik mulla veerežiimi, maastiku ja mulla omaduste suhtes, mis määravad vee imavuse ja äravoolu.

Puhvertsoonidest kogutakse andmed domineerivate mullatüüpide kohta: mulla tekstuur, juurdumise sügavus, maastiku kalded. Kui riiklikul tasandil sellised andmed puuduvad, siis kasutatakse kohalike spetsialistide abi. (GYGA)

Viljelussüsteemi info sisaldab andmeid haritava maa kohta, viljelemise intensiivsuse kohta (mitu kultuuri ühe hooaja jooksul samas asukohas kasvatatakse, Eestis on intensiivsus 1, kuna koristame ühe saagi aastas), külviaja ja kasvuperioodi pikkuse kohta. Nimetatud info kogumiseks kasutatakse vastavaid tabeleid, mille täitmiseks kasutatakse kohalike agronoomide ja spetsialistide teadmisi. (GYGA)

2. NISUTOOTMISE SAAGILÕHE JA POTENTSAALNE SAAGIKUS EESTIS GYGA MUDELI ALUSEL

2.1. Uurimistöö metoodika ja kasutatavad andmed

Käesolevas uurimistöös uuritakse hariliku ehk pehme nisu (*Triticum aestivum*) saagilõhet eraldi tali- ja suvinisu vormidel ning antakse hinnang, kas *Global Yield Gap Atlase* (GYGA) poolt simuleeritud veega limiteeritud potentsiaalse saagikuse (Y_w) väärtus on realistlik ja kas selle dünaamika peegeldab katsekeskustes (Y_{att}) ja viljelusvõistlustel saadud maksimaalseid tulemusi (Y_{vv}). Juhul kui Y_w , Y_{att} ja Y_{vv} väärtuste dünaamika korreleerub omavahel, võime öelda, et GYGA atlase poolt simuleeritud veega limiteeritud potentsiaalne saagikus on tõepärane ning on võimaldab arvutada viimase viie aasta keskmine nisu saagilõhe Eestis (YG). Saagilõhe (valem 1.1) leidmiseks lahutatakse veega limiteeritud potentsiaalsest saagikusest (Y_w) nisu statistiline keskmine saagikus (Y_a).

Global Yield Gap Atlas on arvutanud Eesti saagilõhe aastate 2010-2014 saagiandmete põhjal ning atlas kajastab tali- ja suvinisu saagikust ja saagilõhet koos, mille põhjal on raske järeldusi teha. Põllumajandustootja ei arvuta tali- ja suvinisu keskmist saagikust koos, vaid alati eraldi.

Potentsiaalse saagikuse teadmine võimaldab tootjal ennast positsioneerida, millisel saagitasemel ta asub ja kui suur võiks olla saagikasv. Eesti põllumajandustootja arvutused saagikasvuks põhinevad eesmärgile suurendada kasumit. Eestis on potentsiaalseks saagikuseks veega limiteeritud potentsiaalne saagikus (Y_w), kuna meie piirkonnas ei kasutata niisutussüsteeme ja vesi on piirav tegur, millega tuleb potentsiaalse saagikuse (Y_p) leidmisel arvestada.

Veega limiteeritud potentsiaalse saagikuse kajastamiseks kasutatakse GYGA saagilõhe mudeli väljundandmeid (lisa 3). Atlases kajastatud andmed on simulatsioonimudelite põhjal arvutatud, seega teoreetilised. Arvutustes on arvestatud kahe ilmajaama Pärnu ja Tartu andmeid perioodist 1998-2014, mullastiku andmed pärinevad ESDB (*European Soil Database*) andmebaasist ja saagikuse andmed Eesti Statistikaameti andmebaasist. Selleks,

et saaksime hinnata globaalse mudeli poolt arvatud tulemuste tõepärasust Eestis, võtab autor võrdluseks Põllumajandusuuringute Keskuse majandus- ja riiklike sordivõrdluskatsete tulemused ning lisaks Eesti Viljelusvõistluse aastate maksimaalsed tulemused tootmispõldudel.

Juhul kui simuleeritud mudeli väärtused (Y_w) on tõele vastavad, siis Eesti põldudel saadud maksimaalsed saagikused lähenevad simuleeritud tulemustele ja valitud ajaperioodi saavutatavate saagikuste (Y_{att}) dünaamika on analoogne.

Katsekeskustes ja viljelusvõistluse põldudel saadud maksimaalseid saagikusi nimetatakse saavutatavateks saagikusteks, kuna need on kasvatatud kasutades parimat olemasolevat tehnoloogiat ja taimekasvatuse praktikaid Eestis. Kuna Statistikaamet ei avalikusta maksimaalseid tootmispõldude saagikusi, siis kasutatakse maksimaalsete saagikustena Põllumajandusuuringute Keskuse (PMK) sordi- ja majanduskatsete tali- ning suvinisu saagikusi.

Põllumajandusuuringute Keskus teostab majanduskatseid ja riiklike sordivõrdluskatseid kolmes asukohas: Viljandi katsekeskuses, Kuusiku katsekeskuses ja Võru katsejaamas. Lisaks viiakse katseid läbi ka Eesti Taimekasvatuse Instituudi Jõgeva Sordiareture osakonnas. Katsetes hinnatakse kultuuride viljelusväärtust Eesti tingimustes, selle eesmärgi täitmiseks mõõdetakse kultuuri saagikust, haiguse- ja talvekindlust (Riiklike... 2016: 5). Potentsiaalse saagikuse üheks määravaks teguriks on just nimetatud sordiomadusi (van Ittersum, Rabbinge 1997: 199; Titonell, Giller 2013: 78). PMK sordivõrdluskatsete eesmärk on välja selgitada meie tingimustesse sobivad kultuurid, mis katsete läbimisel Eesti Sordilehte kantakse. Sordivalikukomisjoni poolt valitakse Sordilehele edukalt sordivõrdluskatse katsetsükli läbinud sordid. 2015. aastal oli sordikatsete arv katsekohtades kokku 657, sellest neljas katsejaamas oli talinisu ja suvinisu sordikatseid mõlemaid 24 (4 katsekeskuses). 2016. aasta novembri seisuga oli andmebaasis katseandmeid 1127 sordi ja 8000 katse kohta (PMK).

Lisaks uutele sortidele on katsetes alati ka meie tingimustes vastupidavad ja tootmispõldudele tuntud standardsordid nagu näiteks talinisu sortidest Ada, Fredis, Frontal, Olivin ja Skagen (Riiklike... 2016: 15). Suvinisu sortidest on standardina märgitud Granny, Hamlet, Scirocco ja Zebra (Sealsamas: 29). Kogu valiku Eesti sordilehes olevatest kultuuridest leiab Põllumajandusameti kodulehelt (Sordileht).

Sordi- ja majanduskatsete tulemused on alates 2002. aastast kättesaadavad andmebaasina internetis (PMK). Kuna sordi- ja majanduskatsetel on kindel metoodika katsete läbiviimiseks, saagi koguse ja kvaliteedi määramiseks ning katseid tehakse mitmes korduses, siis on antud andmebaas usaldusväärne saavutatava saagikuse arvutamiseks (Riiklike... 2016: 4).

Potentsiaalse saagikuse määravad ära antud piirkonnale omased ja kasvatavad sordid. Väga saagikad võõrad sordid võivad ühekordsetes katsetes anda häid tulemusi, kuid ei pruugi sobida tootmispõldudele. Edukalt sordivõrdluskatse katsetsükli läbinud sordid jõuavad ka tootmispõldudele. Seega autori hinnangul, ei saa ainult maksimaalsetele tulemustele tugineda, kuna seal on esindatud ka uued veel tootmispõldudele mitte jõudnud sordid.

Saavutatava saagikuse arvutamiseks on autor võtnud sordi- ja majanduskatsete (PMK) saagikustest ülemise veerandi keskmise saagikuse ja tähistanud Y_{att} (sordi- ja majanduskatsetes saavutatud saagikus). Võrdluseks tuuakse välja katsete saagiaasta maksimaalne saagikus Y_{max} ja minimaalne saagikus Y_{min} . Saagiaasta maksimaalne saagikus peaks samuti järgima veega limiteeritud potentsiaalse saagikuse dünaamikat. Olulise näitajana on ka saagikuselt ülemisse veerandisse kuuluvate Eesti sordilehes olevate sortide osakaal: see iseloomustab juba tootmises kasutatavate sortide osakaalu ülemise veerandi katsetulemustes. Nimetatud saagikused ja andmed talinisu ning suvinisu kohta kajastuvad vastavalt lisades 6 ja 7.

Lisaks sordi- ja majanduskatsete saagikustele on võrdlusena toodud viljelusvõistluse maksimaalsed tulemused (lisad 6 ja 7). Saagilõhe arvutamise kontekstis saab neid viljelusvõistluse maksimaalseid saagikusi samuti lugeda saavutatavateks saagikusteks (Y_{att}), kuid antud töös on viljelusvõistluse maksimaalsed tulemused tähistatud Y_{vv} . Viljelusvõistlusele pannakse üldjuhul välja kõige suurema saagipotentsiaaliga põllud.

Sadras jt (2015:15) hinnangul tuleks valida saagilõhe uurimiseks piisavalt pikk ajaperiood, mis jäädvustab ilma muutused ning samaaegselt piisavalt lühike, et ei kajastuks tehnoloogilised muutused tootmises. Joonisel 2.2 (lk 31) on näha, et viimase kümne aasta jooksul on statistiline keskmine saagikuse tase (Y_a) tõusnud ja saagikuse varieerumine võrreldes eelneva perioodiga suurenenud, seega saagilõhe $YG = Y_w - Y_a$ arvutatakse viimase 5 aasta kohta, millest leitakse perioodi keskmine saagilõhe, tähistades selle YG_A . Saagilõhe dünaamikat analüüsitakse aastate 2004-2013 andmetel, kuna selle perioodi kohta on olemas

GYGA veega limiteeritud potentsiaalne saagikuse ja katsekeskuste sordi- ja majanduskatsete saagikuste andmed. Dünaamika uurimisel võimaldab pikem ajaperiood paremini hinnata veega limiteeritud potentsiaalse saagikuse tegelikkusele vastavust. Uurimistöös arvutatakse tali- ja suvinisu saagilõhe eraldi, kuna tegu on ühe kultuuri erinevate vormidega, mille puhul kasvuperioodi pikkus ja potentsiaalne saagitase on erinevad, mistõttu nende koos kajastamine ei ole põhjendatud.

Mudeli abil arvutatud veega limiteeritud potentsiaalse saagikuse (Y_w) ning sordivõrdluskatsetes saadud ja statistiliste keskmiste saagikuste (vastavalt Y_{att} ja Y_a) vahelised seosed tuuakse väljakorrelatsioonianalüüsi abil.

Autor eeldab, et saavutatava saagikuse ja veega limiteeritud saagikuse vahel on tugev seos. Seos on keskmine, kui korrelatsioonikordaja absoluutväärtus jääb vahemikku 0,5-0,7 ja seos on tugev, kui kordaja absoluutväärtus $\geq 0,7$. Juhul kui korrelatsioonikordaja absoluutväärtus on 1, siis on tegemist funktsionaalse seosega. Lisaks hinnatakse korrelatsioonikordaja usaldusväärsust. Korrelatsioonianalüüsiks kasutati *MC Exceli* protseduuri *Correlation* ja korrelatsioonikordaja usaldusväärsuse hindamiseks t-kriteeriumi ja t leidmiseks funktsiooni T.INV.2T.

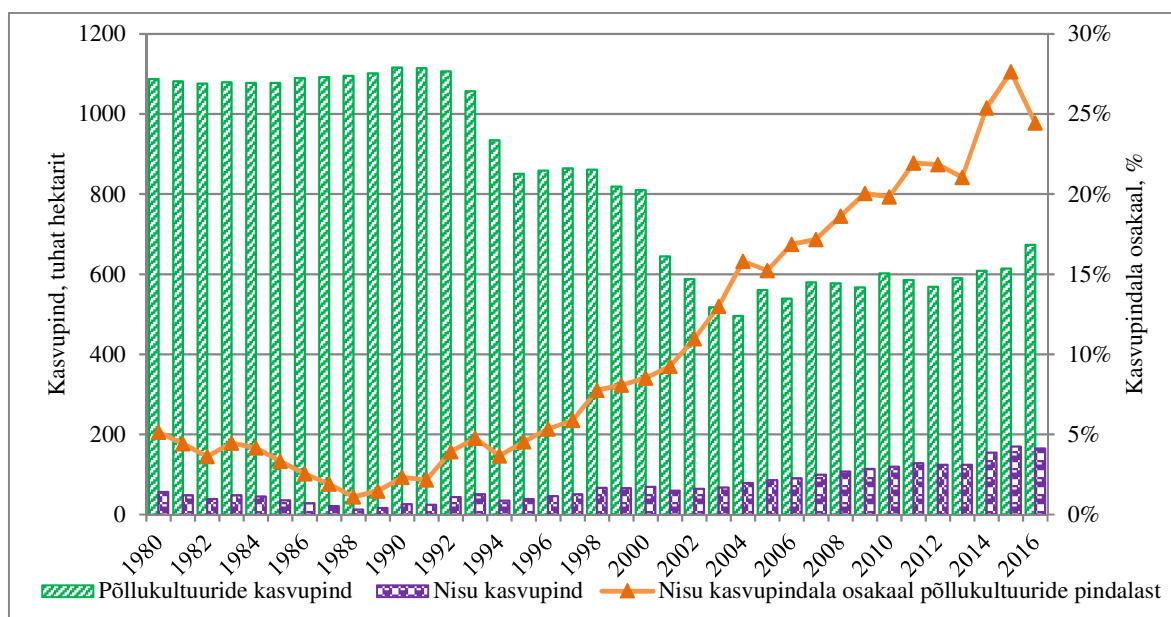
Juhul kui mudeliga arvutatud potentsiaalse saagikuse ja sordi- ning majanduskatsete saavutatavate saagikuste vahel on tugev seos, siis GYGA mudeli arvutatud potentsiaalne saagikus iseloomustab Eesti piirkonnas nisu saagipotentsiaali piisavalt hästi.

2.2. Nisu kasvupind ja keskmine saagikus perioodil 1980-2016

Nisu on eestlaste ja kogu maailma jaoks üks tähtsamaid toiduteravilju. Statistikaameti andmetel on nisu kasvupind viimase 15 aasta kõrgeimal tasemel: 2016. aastal oli nisu kasvupind 165 tuhat hektarit, mis oli 47 % kogu teravilja kasvupindalast ja 24% kogu Eesti põllumaa pindalast (PM03).

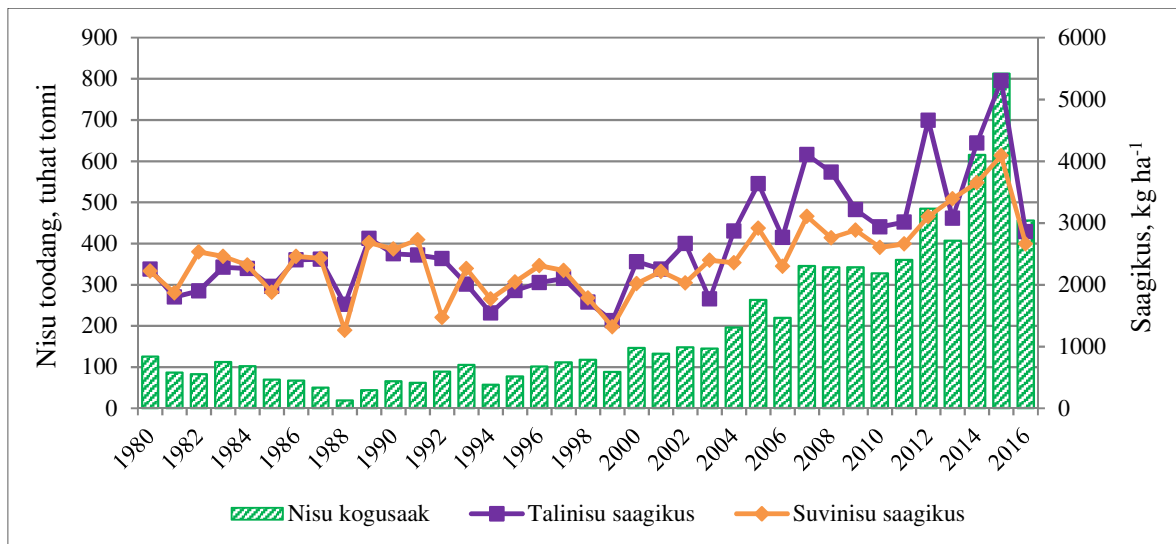
Joonisel 2.1. on kujutatud nisu kasvupinnas ja põllukultuuride kogupinnalas toimunud muutusi alates aastast 1980. Varasem statistika andmete kohta ei ole täielik. Alates üheksakümnendate aastate algusest on põllukultuuride pindala Eestis vähenenud üle 35%, kuid nisu kasvupind on alates üheksakümnendate algusest alates kasvanud. 2016. aastal

toimunud langus oli tingitud taliviljadele ebasoodsast talvest, mille tulemusena tuli enamus talivilju ümber külvata.



Joonis 2.1. Põllukultuuride kogupind, nisu kasvupindala ja selle osakaal põllukultuuride pindalast Eestis aastatel 1980-2016 (PM03)

Kuni 2000-ndeta aastate alguseni olid tali- ja suvinisu saagikused samal tasemel (joonis 2.2). Perioodil 1980-1999 oli mõlema nisuvormi saagikuse tase ja dünaamika analoogsed. Talinisu keskmine saagikus oli 2097 kg ha⁻¹ ja suvinisu keskmine saagikus oli 2130 kg ha⁻¹: mõlema vormi puhul on näha langustrendi. Antud perioodi jäävad suured muutused Eesti põllumajanduses. Riigi taasiseseisvumine, mille tagajärjel toimusid põllumajanduslike ettevõtete erastamised, investeeringute vähenemine põllumajandusse, põllumajandusmaa kasutusest väljajäämine ja kohanemine vabaturumajandusega, mille tulemusena sisendite hinnad tootjale tõusid (Viira 2011: 87). Kui kuni 2000. aastani oli suvinisu saagikus suurema varieeruvusega, siis 2000. aastast on talinisu saagikus suurema varieeruvusega. Autori hinnangul on see tingitud ka asjaolust, et soodsal aastal suudab talinisu anda suurema potentsiaaliga saaki ja halvemal aastal on seda suurem kaotus, kui talinisu kasvuks sobivaid tingimusi ei ole.



Joonis 2.2. Suvinisu ja talinisu keskmine saagikus ja nisu kogutoodang Eestis aastatel 1980-2016 (PM04; PM041)

Alates 2000. aastast võib täheldada mõlema nisu vormi saagikuste tõusu. Viimase kümnendi saagikustes võib märgata seaduspärasust: aastatel 2006, 2010, 2013 ja 2016 olid talinisu saagikused ning aastatel 2006, 2010 ja 2016 suvinisu saagikused kõik eelmise saagiaastaga võrreldes madalamad. Kõigil nimetatud aastatel oli kuivemad kevadkuud mai ja juuni, mil sademeid tuli tavapärasest vähem ja temperatuurid oli keskmisest kõrgemad (Riiklike... 2007; 2011; 2014; 2017). Seda näitavad ka meie katsekeskuste tulemused, et saagikus meie piirkonnas on väga tundlik hooajal taimele kättesaadava veetaseme ja selle jagunemise suhtes kasvuperioodil.

Perioodil 2000-2016 oli talinisu keskmine saagikus 3271 kg ha⁻¹ ja suvinisu keskmine saagikus 2772 kg ha⁻¹. Sama näitaja perioodil 2012-2016 olid saagikused vastavalt 4038 ja 3378 kg ha⁻¹. Seega tänapäeva talinisu tootmispõldudel on suvinisust saagikam ja saagikuse vahe on järjest suurenemas. Talinisu on ca 20% saagikam kui suvinisu. Saakide suurenemine on suuresti seotud intensiivistamise suurenemise ja põllumajandusettevõtlike ümberkujunemisega. Alates Eesti taasiseseisvumisest on kasutatava põllumaa pind vähenenud, nisu kasvupindala suurenenud ja veelgi on suureneud nisu saagikus ning kogusaak (joonis 2.1 ja 2.2).

Viimase kümnendi muutused majapidamiste struktuuris on saagikuse tõusule kaasa aidanud. Perioodil 2001-2010 vähenes põllumajanduslike majapidamiste arv neli korda kuni 10 hektariliste majapidamiste arvelt ja suurenes üle 100 hektariliste majapidamiste arv, kelle

kasutuses oli 2010. aastal 73% kogu põllumajandusmaast (Põllumajandusloendus 2012: 19). Põllumajandusloendusest 2010 on näha, et on maakonnad, kus suurettevõtete maakasutus kasvab (Sealsamas: 19, 45), seal kasvab ka keskmine standardtoodang majapidamise kohta. (Sealsamas: 43). Lisaks nendes maakondades, kus on põllumajandusettevõtete suurus kasvanud, on kasvanud ka nisu keskmine saagikus ja need on ka Eesti kõige saagikamad piirkonnad: Jõgeva, Tartu, Lääne-Viru ja Harju maakond (PM042).

2.3. Talinisu potentsiaalne saagikus GYGA mudeli põhjal, saagilõhe Eestis

Talinisu peetakse heal vilja-aastal suurema potentsiaaliga vormiks kui suvinisu. Tulenevalt asjaolust, et talinisu kasvuaeg on pikem ja taimel on rohkem aega saaki moodustada, siis üldjuhul ka panustatakse sisendeid talivilja põldu rohkem. Sordiomadustest tulenevalt on talinisu ka parem võrsuja. Kevadel jääb suvinisul võrsumise jaoks liiga vähe aega, kuna temperatuurid tõusevad kiiremini ja veevarud peale kevadkülvi mullas on kesisemad võrreldes talivilja põldudega. Kuigi GYGA atlasess graafilises väljundis on kajastatud tali- ja suvinisu keskmist saagikust koos, kasutab autor atlase mudeli arvandmeid, Statistikaameti vastavat näitajat kummagi vormi kohta eraldi, kuna tootja tasandil arvutatakse neid saagikusi alati eraldi. Eesmärgiks on anda hinnang mudeli arvutatud veega limiteeritud potentsiaalse saagikuse paikapidavusele ja hinnata Eesti nisutootmise saagilõhet ning saagilisa potentsiaali parimates võimalikes tingimustes.

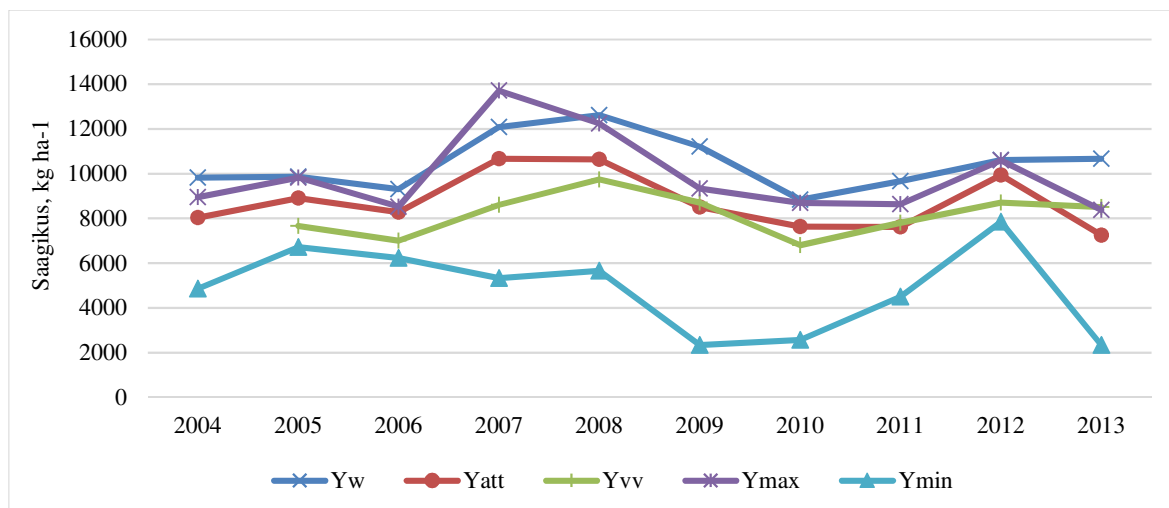
Eesti kohta on GYGA atlasesse sisestatud ilmastiku andmed ajavahemiku 1998-2014 kohta ning potentsiaalne saagikus (Y_w) on arvutatud ajavahemikule 1998-2013. Kasutatud on ilmajaamade reaalseid ilmastiku andmeid, kuna Tartu ja Pärnu ilmajaamad katsid ära üle 50 % nisu kasvupindalast, mis annab hea eelduse mudeli andmete tõepärasusele. GYGA andmetesse on sisestatud Eesti Statistikaameti andmebaasi keskmine nisu saagikus perioodil 2010-2014, mis mudeli poolt kuvatud graafilise väljundi alusel jääb vahemikku 2,4-4,0 t ha⁻¹ (lisa 6). Lääne-Eestis madalam ja Ida-Eestis kõrgem.

Saagilõhe suurus 2010-2014 andmete keskmisena on olnud vahemikus 4,0-4,8 t ha⁻¹ Ida-Eestis ja 4,8-5,6 t ha⁻¹ Lääne-Eestis ja saartel (GYGA graafiline väljund lisa 7). Graafiline väljund näitab meile seisu kindlal ajahetkel, kuid see ei näita, kas ja kui palju on Eesti

keskmine nisu saagikus ja saagilõhe muutunud mingi ajaperioodi jooksul. Palju kasutatakse terminit „*closing the yield gap*“, ning mida Margus Ameerikas (2015) on tõlkinud kui saagilõhe sulgemine, kuid graafiliselt kujutatud tulemit (lisas 7) me seda välja lugeda ei saa.

Arvutuslikule, teoreetilisele saagikusele (Y_w – veega limiteeritud potentsiaalne saagikus) on võrdluseks toodud PMK sordi- ja majanduskatsete saagikused (joonis 2.3). Kuna tegu väikesel maa-alal tehtavate katsetega ja osaliselt ka uute sortidega, mis kõik ei ole jõudnud tootmispõldudele, siis lisaks maksimaalsetele sordi- ja majanduskatse saagikusele on esitatud ka kõrgema saagikusega ülemise veerandi keskmine saagitase. Autori hinnangul peegeldab see paremini saagilõhe analüüsimisel kasutatavat saavutatavat saagikust (Y_{att}), kuna siis on valimis ka teatud hulgal praeguseks sordilehel olevaid sorte. Sordilehele saavad sordivõrdluskatse edukalt läbinud sordid. Need on rohkesti esindatud tootmispõldudel ja neid kasvatatakse ka viljelusvõistlustel osalevatel põldudel. Edaspidi on sordi- ja majanduskatsete ülemise veerandi keskmine saagikus tähistusega Y_{att} ehk saavutatav saagikus.

Joonisel 2.3 on näha, et veega limiteeritud potentsiaalne saagikus (Y_w), saavutatav saagikus (Y_{att}), viljelusvõistluste maksimaalsed tulemused (Y_{vv} , alates 2005) ning sordi- ja majanduskatsete maksimaalsed saagikused (Y_{max}) muutuvad kõik väga sarnaselt.



Joonis 2.3. Talinisu veega limiteeritud potentsiaalne saagikus (Y_w), saavutatav saagikus (Y_{att}), viljelusvõistluste maksimaalsed tulemused (Y_{vv}), sordi- ja majanduskatsete maksimaalne (Y_{max}) ja minimaalne (Y_{min}) saagikus perioodil 2004-2013 (GYGA; PMK; Viljelusvõistlus 2014: 30; Viljelusvõistluse Arhiiv)

Selleks, et hinnata, kas GYGA mudeli väljundandmete põhjal arvutatud veega limiteeritud potentsiaalne talinisu saagikus peegeldab tegelikkust meie tingimustes, on lisaks sellele arvutuslikule näitajale kaasatud korrelatsioonianalüüsi katsekeskuste maksimaalne saagikus, saavutatav saagikus, viljelusvõistluse maksimaalne saagikus ja statistiline keskmine talinisu saagiks.

Korrelatsioonianalüüsi (Tabel 2.1) tulemusel on näha, et teoreetiline Y_w on tugevas seoses saavutatava saagikuse, viljelusvõistluse tulemuste ning sordi- ja majanduskatsete maksimaalse saagikusega. Korrelatsiooni kordaja $>0,7$, vastavad tulemused 0,763, 0,932 ja 0,806. Veega limiteeritud potentsiaalse saagikuse ja keskmiste saagikuste vahel esineb keskmine seos – korrelatsioonikordaja on 0,592, jäädes vahemikku 0,5 kuni 0,7.

Tabel 2.1. Talinisu korrelatsioonianalüüsi tulemused

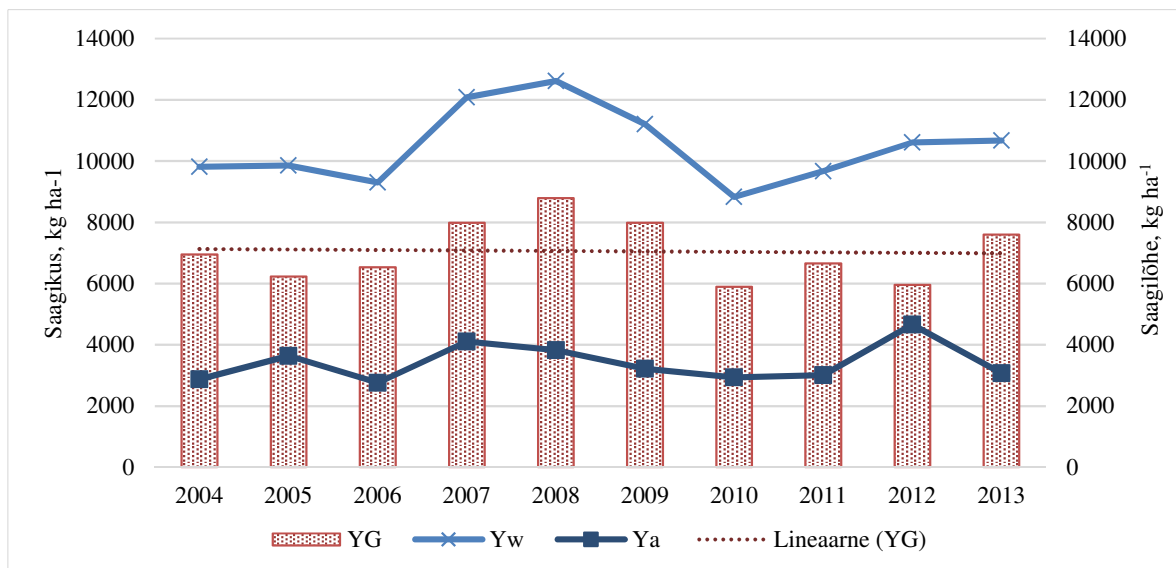
	Y_w	Y_{att}	Y_{vv}	Y_{max}	Y_a
Y_w	1				
Y_{att}	0,7635346	1			
Y_{vv}	0,9325885	0,6361066	1		
Y_{max}	0,8063172	0,9389814	0,6191906	1	
Y_a	0,5921646	0,8264199	0,6013035	0,7508717	1

Kuna soovime anda hinnangut veega limiteeritud potentsiaalse saagikuse seostele eelpool loetletud saagikustega Y_{att} , Y_{vv} , Y_{max} ja Y_a , siis teiste tabelis 2.1 korrelatsioonikordajate usaldusväärsust ei hinnata. Tabelis 2.2 on arvutustel kasutatud funktsiooni T.INV.2T t teoreetilise (t) väärtuse leidmiseks ja t -kriitilise (t_r) leidmiseks t -kriteeriumi valemit ning kui $|t_r| > t$, võib korrelatsioonikordaja lugeda usaldusväärseks. Kõik eelpool loetletud korrelatsioonikordajad on usaldusväärsed (tabel 2.2), seega saame järeldada, et veega limiteeritud potentsiaalne saagikus Y_w on tõepärane ja mudeli väljundandmed on talinisu saagilõhe leidmiseks sobilikud.

Tabel 2.2 Talinisu korrelatsioonikordajate usaldusväärsus

	Y_w	t	t_r	$ t_r > t$
Y_{att}	0,7635	2,3060	3,3442	usaldusväärne
Y_{vv}	0,9326	2,3646	7,3080	usaldusväärne
Y_{max}	0,8063	2,3060	3,8557	usaldusväärne
Y_a	0,5922	2,3060	3,5100	usaldusväärne

Saagilõhe illustreerimiseks on joonisele 2.4 lisatud Eesti keskmine talinisu saagikus (Y_a). Saagilõhe arvutamiseks lahutatakse veega limiteeritud potentsiaalsest saagikusest (Y_w) talinisu keskmine saagikus (Y_a). Saagilõhe (kg ha^{-1}) on võimalik saagilisa hektarilt, kui talinisu kasvatada sobivates tingimustes, kui ei ole puudust toidainetest ega veest ja ei ole kahjustusi haigustekitajate ega kahjurite poolt. Viie aasta keskmine (2009-2013) talinisu saagilõhe Eestis on 6818 kg ha^{-1} (lisa X). Sellel perioodil muutub saagilõhe vahemikus 5898 kg ha^{-1} kuni 7987 kg ha^{-1} , mis teeb saagilõhe varieeruvuseks 2089 kg ha^{-1} . Joonisel 2.4 kujutatud lineaarne trendijoon muutujal saagilõhe näitab, et selle aja jooksul ei ole saagilõhe märgatavalt vähenenud ega suurenenud. Seega ei ole toimunud saagilõhe sulgemist. Kuid on toimunud veega limiteeritud potentsiaalse saagikuse ja Eesti keskmise saagikuse tagasihoidlik tõus, mis on ka saagilõhe samal tasemel püsimise põhjuseks.



Joonis 2.4 Talinisu saagilõhe eestis (YG), veega limiteeritud potentsiaalne saagikus (Y_w) ja talinisu statistiline keskmine saagikus (Y_a) aastatel 2004-2013 (GYGA; PM041; arvutused lisa 6)

Võrdluseks saame tuua kasutatava saagilõhe (*exploitable yield gap*, Y_{GE}) lahutades saavutatavast saagikusest (Y_{att}) keskmise saagikuse (Y_a). Katsekeskuste andmetel välja toodud saavutatava saagikusega (lisa 6) arvutatud kasutatav saagilõhe on 2009-2013 aastate keskmisena 4808 kg ha^{-1} . Lisaks kasutades viljelusvõistluste maksimaalseid saagikusi (Y_{vv}), millest lahutatakse keskmised saagikused, tuleb statistilisel keskmisel saagitasemel põllumajandustootja saagilõheks 4722 kg ha^{-1} (Y_{GF}).

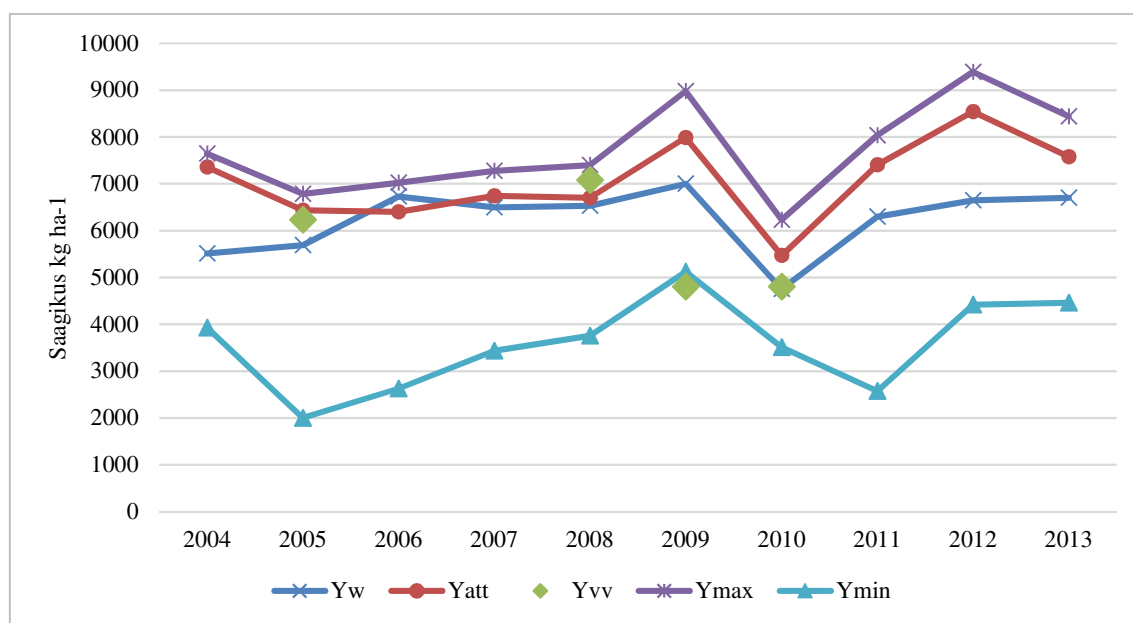
Lisaks pöörame tähelepanu Lobelli jt (2009: 19) töös mainitud majanduslikult optimaalsele tasemele, mis on hinnanguliselt ca 80% veega limiteeritud potentsiaalsest saagikusest. Perioodi 2009-2013 keskmisest Y_w -st 80% saagitase on 8158 kg ha⁻¹ ja sama perioodi keskmised Y_{att} on 8188 kg ha⁻¹ ja Y_{vv} on 8102 kg ha⁻¹ kohta. Seega võiks öelda, et talivilja kasvatamiseks sobilikel maadel võiks saavutatav saagikus olla ca 8100 kg ha⁻¹. Seda juhul kui väetamine katab taime toitainete vajadused ning taimekaitsetöödega hoitakse taimed terved ja heas elujõus. Autori hinnangul ei ole see tulemus ebareaalne. Heal põllumaal ja hea saagiaasta korral on need tulemused teostatavad. Eesti keskmise saagikuse puhul peab arvestama asjaoluga, et tihti kasvatatakse talinisu ka sellistel põldudel, mis ei ole selleks kõige sobivamad. Näiteks ebasobival mullal (liiga kerged põuakartlikud mullad või samas liiga niisked mullad, turvasmullad), taliviljade jaoks ebasobiva asukoha ja topograafiaga põllul (mägised tuultele avatud alad ja samas lohud, kuhu vesi peale jääb) või ei ole külv toimunud optimaalsel ajal jne.

2.4. Suvinisu potentsiaalne saagikus GYGA mudeli põhjal, saagilõhe Eestis

Uuritaval ajaperioodil (2004-2013) kasvatati suvinisu keskmiselt 63% ja talinisu 37% nisu kogupindalast. Viimasel kolmel aastal (2014-2016) on see osakaal muutunud ja mõlemat nisu vormi kasvatatakse enam-vähem võrdselt. Suvinisu jääb koristuskonveieris tavaliselt viimaste sekka ning halvema ilma korral võib kaotada kvaliteedis. Sisendite poolest ei tehta suvinisu kasvatamisel järelandmisi: väetamis- ja taimekaitsekavade on sarnased talinisu programmidega. Hea saagi ja kvaliteedi saamiseks tuleb hoida taimik terve kuni vilja omadega. Seega on mõlemal nisu vormil kasvatamisest tulenevad riskid.

Erinevalt talinisu tulemustest on suvinisu (joonis 2.5) saavutatav saagikus (Y_{att}) ja sordi- ja majanduskatsete maksimaalne saagikus (Y_{max}) kõrgem veega limiteeritud potentsiaalsest saagikusest (Y_w), (välja arvatud 2006. aastal, kui saavutatav saagikus oli madalam kui veega limiteeritud potentsiaalne saagikus). Perioodi 2009-2013 keskmine veega limiteeritud potentsiaalne saagikus oli 6281 kg ha⁻¹, sama perioodi keskmine saavutatav saagikus 7391 kg ha⁻¹ ja katsekeskuste keskmine maksimaalne saagikus 8214 kg ha⁻¹. Teoorias peaks potentsiaalne saagikus olema kõrgem kui saavutatav saagikus, kuid suvinisu puhul on see vastupidi: saavutatav saagikus on ca 30% kõrgem kui mudeliga arvutatud saagikus. See võib

olla põhjustatud simulatsioonimudeli sisendandmetest, mida autoril kontrollida ei ole võimalik. Kuna tegu ei ole ühe väärtuse anomaaliaga vaid terve kümneaastase perioodiga ning antud saagikuste väärtused korreleeruvad omavahel keskmiselt, siis ei saa öelda, et need simulatsioonimudeli väärtused ei vastaks üldse tegelikkusele. Kuna kõigi mahukate mudelite koostamine võtab aega, siis võib olla erinevus mudelis olevate sortide andmetes ja meie sordikatsetel maksimaalseid saake suurendanud sordid, ei pruugi veel tootmispraktikasse mudeliandmetesse jõudnud olla.



Joonis 2.5. Suvinisu veega limiteeritud potentsiaalne saagikus (Y_w), saavutatav saagikus (Y_{att}), sordi- ja majanduskatsete maksimaalne (Y_{max}) ja minimaalne (Y_{min}) saagikus, Viljelusvõistluste maksimaalsed tulemused (Y_{vv}) perioodil 2004-2013 (GYGA; PMK; Viljelusvõistlus... 2014: 30; Viljelusvõistlus Arhiiv)

Samuti võib mudelil olla raskusi meie väga keerukate ilmastikutingimuste prognoosimisega suviviljade puhul. Eesti vegetatsiooniperioodi iseloomustavad väga kuivad kevadkuud, sademete ebahühtlane jaotumine, kõrged temperatuurid suvekuudel. Erinevust võib põhjustada ka simulatsioonimudeli väga suur muutujate hulk. Võime ka järeldada, et suvinisu sordid on muutunud saagikamaks.

Kuna sordikatsete saagikused on realselt saavutatud, on saavutatavate saagikuste arvutused tõepärased. Näiteks 2014. aastal oli Viljelusvõistlusel tootmispõld, mille suvinisu saagikuseks mõõdeti 8,36 t/ha (Viljelusvõistluse Arhiiv).

Veega limiteeritud potentsiaalsel suvinisu saagikusel (Y_w) on keskmine seos saavutatava saagikuse (Y_{att}) ja katsekeskuste maksimaalse saagikusega (Y_{max}), korrelatsioonikordajad vastavalt 0,635 ja 0,676. Katsekeskuste miinimumtulemuste (Y_{min}) ja statistilise keskmise suvinisu saagikuse (Y_a) vahel on nõrk seos – korrelatsioonikordaja väiksem kui 0,5. Omakorda on tabelis 2.3 näha, et seos Y_{min} ja Y_a vahel on samuti nõrk. Seega saagitaseme erinevuse põhjused ja ulatus on aastati erinevad ja keskmised ning minimaalsed saagikused on nõrgas seoses potentsiaalsetega.

Tabel 2.3. Suvinisu saagikuste korrelatsioonianalüüsi tulemused

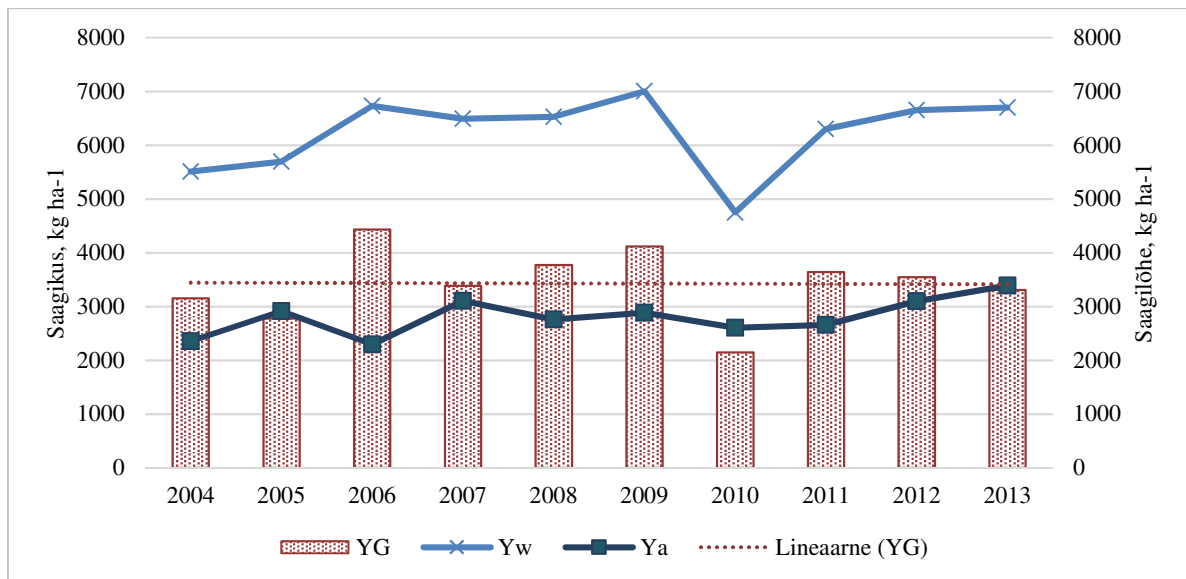
	Y_w	Y_{att}	Y_{max}	Y_{min}	Y_a
Y_w	1				
Y_{att}	0,6359246	1			
Y_{max}	0,6766926	0,9777321	1		
Y_{min}	0,3477718	0,5932977	0,6788354	1	
Y_a	0,3791128	0,4133077	0,4668829	0,3818498	1

Korrelatsioonianalüüsil kinnitust saanud nõrka seost Y_w ja Y_{min} , Y_a vahel kinnitab ka usaldusväärse analüüsi (tabel 2.4), et seost nende näitajate vahel ei tasu otsida.

Tabel 2.4. Suvinisu korrelatsioonikordajate usaldusväärsus

	Y_w	t	t_r	$ t_r > t$
Y_{att}	0,6359	2,3060	2,3306	usaldusväärne
Y_{max}	0,6767	2,3060	2,5996	usaldusväärne
Y_{min}	0,3478	2,3060	1,0491	ei ole usaldusväärne
Y_a	0,3791	2,3060	1,1588	ei ole usaldusväärne

Suvinisu statistiline keskmine saagitase (Y_a) oli 2004-2013 aastate lõikes 2808 kg ha⁻¹, samal ajal katsekeskuste saavutatavate saagikuste ülemise veerandi keskmine oli 7062 t ha⁻¹ (lisa 7). Joonisel 2.6 ei eristu, kuid viieaastaselt perioodil 2009-2013 olid keskmised saagikused mõnevõrra suuremad võrreldes 2004-2013 kümne aasta keskmistega, mis taaskord iseloomustab saagilõhe samal tasemel püsimist. Kuna kasvas nii ülemine veega limiteeritud potentsiaalne saagikus kui ka keskmine saagikus (Y_a), siis ei saanud saagilõhe palju suurenedagi ega väheneda.



Joonis 2.6. Suvinisu saagilõhe eestis (YG), veega limiteeritud potentsiaalne saagikus (Y_w) ja Eesti keskmine saagikus (Y_a) aastatel 2004-2013 (GYGA; PM041; arvutused lisas X)

Perioodil 2009-2013 oli suvinisu saagilõhe 3353 kg ha^{-1} ja pikema perioodi 2004-2013 saagilõhe oli 3429 kg ha^{-1} , mis näitab, et suvinisu saagilõhe on mõnrvõrra vähenenud tänu viimasele viiele aastale. Seda võisid põhjustada paljud tegurid. Joonisel 2.6 jääb silma 2010. aasta, kus keskmised saagikused ei muutu nii palju kui veega limiteeritud potentsiaalne saagikus ja vahe on üle 2000 kg ha^{-1} võrreldes eelmise saagiaastaga. 2010. aasta oli jahedama ja vihmasema kevad ja millele järgnes väga kuum ja kuiv suvi. Keskmine temperatuur juulis ja augustis püsis 20 kraadi juures (Riiklike... 2010: 8-9). Suurema potentsiaaliga põldude võimalikku saagitaset väga kuumas ja kuivades oludes ei saavutata ja tekivad saagikaod. Keskpärased põllud suutsid säilitada olemasoleva saagikuse.

2.5. Järeldused ja arutelu

Saagilõhe vähendamiseks tuleks praktikas keskenduda saagikust suurendavatele ja saagikaitse meetmetele (joonis 1.4). Eestis on võimalik omandada tugev põllumajandusharidus, kuid teatud osa põllumehi ei ole tulnud koolipingist ja on ilma tänapäevaste teadmisteta. Suure töö põllumeeste koolitamisel ja kaasaja vahenditega teadmistega varustamisel teevad ära väetisi ja taimekaitsevahendeid müüvad ettevõtted nagu Baltic Agro AS ja Scandagra Eesti AS. Põllumeeste ühistul Kevilil on loonud liikmete koolitamise eesmärgiga MTÜ Kevili Koolitused. Nimetatud organisatsioonid teevad hooajal

erinevaid põlluseminare nii tootjate kui ka katsemajandite põldudel. Hooajaväliselt toimuvad koolituspäevad taimekaitset tootvate ettevõtete poolt. Seda kõike selleks, et aidata põllumajandustootjal saaki kaitsta ja võimalusel seda ka suurendada. Taimekaitse eesmärk on toetada sordi potentsiaalne saagikus saavutada. Väetised ja toitaineid aitavad saavutada suuremat saaki, kuid seda kuni sordi potentsiaalse piirini.

Tootlikkuse kasvu suurendavad eelkõige investeeringud teadus- ja arendustegevusse, mis omakorda suurendab potentsiaalset saagikust. (Fisher jt 2009: 8) Saagilõhe vähendamiseks tuleb tootjal sisendeid efektiivsemalt kasutada, tugiorganisatsioonidel ja ettevõtetel kasvatada tootjate teadmisi läbi õppeprogrammide, samuti toetada põllumajandustootmise õppeprogramme antud valdkonna institutsioonide kokkulepetega. (Sadras jt 2015: 41)

Globaalsete mudelite puhul on välja toodud probleemina globaalsel tasemel saagikuse tegelike andmete kogumine. Ka riigi ja kohalikul tasandi andmetena on kättesaadavad keskmised saagikused, mis on kõigi tootjate keskmised (sh mahepõllumajanduslik tootmine). Seega ei peegelda andmed detaile.

Riiklikul tasandil saagilõhe dünaamika uurimine võiks olla Eesti teraviljasektori arengukava üks osa. See võimaldaks jälgida muutuseid ja hinnata, kas need on põhjustatud üldise keskmise saagikuse tõusust või tulenevad sordiaretusest tuleneva saagikuse tõusust. Viimasel juhul ei ole efektiivsus tootja tasemel muutunud, kuid ka see peaks olema eesmärk.

Suhteline saagilõhe saab olla võrdluse aluseks naaberriikidega. Kuna saagikus ise sõltub liialt kohapealsest mullastiku ja ilmastiku tingimustest, siis ei ole erinevad piirkonnad võrreldavad. Kui saab saagilõhet väljendada protsentides, on see võrreldav teiste piirkondade andmetega. GYGA saagilõhe andmetega on kaetud väga suur osa maailmast. Nisu suhteline saagikus on Eesti tasemega sarnane meie naaberriikides Lätis, Leedus ja Ida-Soomes. Kõige enam sarnaneme Lätiga, ka seal jääb suhteline saagikus 30-50% taseme juurde potentsiaalsest saagikusest (joonis 1.2), samas riigi statistiline keskmine saagikus on Eesti keskmisest kõrgem (lisa 4).

Saagilõhe uurimine on oluline riigi ja globaalsel tasandil, kuid selle sulgemist (*Closing the cap*) saab juhtida tootja ja institutsioonide tasandil. Saagilõhe vähendamine saab toimuda ainult tootmises. Riigipoolsed suunised saavad sellele kaasa aidata või seda takistada.

KOKKUVÕTE

Saagilõhe uurimine on oluline erinevatel tasanditel. Globaalselt on see oluline hindamaks kasvava rahvastiku jaoks vajaliku toidu tootmise perspektiive, riiklikul tasandil hindamaks isevarustatust ja valdkonna potentsiaali. Saagilõhe välja toomine kohalikul tasandil võimaldab põllumajandustootjatel võrrelda saadavate saakide taset võrreldes piirkonnas võimaliku saagikusega. Eesti ja paljude teiste riikide teraviljakultuuride saagikus on potentsiaalse võimaliku saagitasemega võrreldes palju madalam.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk oli leida tali- ja suvinisu saagilõhe Eestis võttes aluseks *Global Yield Gap Atlas* (GYGA) mudeliga leitava potentsiaalse saagikuse ja anda hinnang, kas see on meie tingimustes reaalselt saavutatav. Selleks on leitud Eesti tingimustes võimalik potentsiaalne saagitase ning analüüsitud seda võrreldes erinevate kohalikul tasandil kättesaadavate saagiandmetega.

Bakalaureusetöös on tutvustatud saagilõhe kontseptsiooni ja terminoloogiat ning iseloomustatud saagilõhet piiravaid, vähendavaid ja määravaid tegureid. Antud on ülevaade GYGA saagilõhe mudelist, selles kasutatavatest andmetest ja esitatud näiteid mudeli graafilistest väljunditest.

Uurimiseesmärgi täitmiseks arvutati nii tali- kui ka suvinisu veega limiteeritud potentsiaalne saagikus WOFOST taimekasvatuse simulatsioonimudeli väljundandmete põhjal. Mudel arvestab analüüsitud aastate ilmastikuandmeid, piirkonna mullastikku ja nende esinemise proportsioone, viljelusviise, kasvatatavaid sorte jm olulisi parameetreid. Simulatsioonimudeli arvandmete põhjal leiti iga-aastane potentsiaalne saagikus Eesti kõige levinumate muldade kohta. Tuginedes läbitöötatud teoreetilistele lähtekohtadele erineva tasandi saagilõhede esitamiseks leiti vastavad saagilõhed Eestis talinisu ja suvinisu kohta.

Potentsiaalsele saagikusele hinnangu andmiseks võeti võrdluseks Põllumajandusuuringute Keskuse sama perioodi sordi- ja majanduskatsete saagikused ning viljelusvõistluste maksimaalsed saagikused. Andmete võrdlemisel selgus, et potentsiaalne saagikus on aastate lõikes muutunud enam-vähem sünkroonselt sordivõrdluskatsete ja viljelusvõistluste saagitasemetega, st arvutuste aluseks olnud andmed iseloomustasid kohalike tingimuste

mõjust tulenevaid muutusi hästi. Talivilja puhul esines analüüsitud saagikuste vahel tugev seos, suvinisu veega limiteeritud potentsiaalse saagikuse ja sordi- ning majanduskatsete saagikuste vahel esines keskmine seos. Seega võib öelda, et simulatsioonimudeliga arvatud potentsiaalne saagikus on arvestanud kümne aasta jooksul toimunud muutusi ja on tegelikkusega vastavuses.

Autori poolt arvatud 2009-2013 perioodi keskmine saagilõhe oli 6818 kg ha⁻¹ talinisu puhul ja 3353 kg ha⁻¹ suvinisu puhul. Nende saagilõhede alusel arvatud sama perioodi kaalutud keskmine oli 4635 kg ha⁻¹. GYGA mudeli sama perioodi keskmine nisu saagilõhe oli saartel ja Lääne-Eestis 4800-5600 kg ha⁻¹ ja Ida-Eestis 4000-4800 kg ha⁻¹, seega kinnitasid ka autori arvutused saagilõhe paiknemist GYGA mudeli esitatud vahemikes. Saagilõhe suurus on analüüsitud aastate jooksul püsinud sama, sest tänu sordiaretusele ja tootmistehnoloogiate arengule on kasvanud nii tegelikud saagid kui ka potentsiaalne saagikus. Sellisel juhul saagilõhe sulgemist ei toimunud, kuna mõlemad näitajad kasvasid.

Bakalaureusetöö tutvustas Eestis seni vähe käsitlemist leidnud saagilõhe olemust ja arvutamise viise. Kuigi teema on globaalsel tasandil ja riigi seisukohalt väga oluline, on saagilõhe vähendamine võimalik ainult põllumajandustootja tasandil. Selleks on vaja nii riigil kui ka eraettevõtetel ja organisatsioonidel panustada valdkonna haridusse, teadus- ja arendustegevusse.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Ameerikas, M.** (17. veebruar 2015). Mis on saagilõhe? – *Äripäev Põllumajandus.ee*. [e-ajaleht] <http://www.pollumajandus.ee/uudised/2015/02/17/mis-on-saagilohe> (02.03.2017)
2. **Beza, E., Silva, J. V., Kooistra, L., Reidsma, P.** (2017). Review of yield gap explaining factors and opportunities for alternative data collection approaches. - *European Journal of Agronomy*. Vol. 82, pp. 206-222.
3. **Biswas, B., Sarkar, S., Sahoo, S. K., Das, R., Das, S. K., Singh, D.** (2016). Yield gap and economic utility evaluation of improved technologies in rapeseed-mustard cultivation: An analysis of front line demonstrations in West Bengal. – *Ecology, Environment and Conservation*. Vol. 22, pp. 1279-1284.
4. **Boogaard, H. L., Van Diepen, C. A., Rötter, R. P., Cabrera, J. M. C. A., Van Laar, H. H.** (2014). WOFOST Control Centre 2.1 and WOFOST 7.1.7. Wageningen: Alterra, Wageningen University & Research Centre. 133. pp.
5. **Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charmet, G., Oury, F.-X., Huard, F.** (2010). Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. – *Field Crops Research*. Vol. 119, pp. 201-212.
6. Eesti teraviljasektori arengukava aastateks 2014–2020. (2014). Põllumajandusministeerium. <https://www.agri.ee/sites/default/files/content/arengukavad/arengukava-seemnemajandus-2014-2020.pdf> (09.03.2017).
7. **Evans, L. T.** (1996). Crop Euolution, Adaptation and Yield. - *Field Crops Research*. Vol. 55 (1998), pp. 283-291, viidatud: Lobell, D. B., Cassman, K. G., Field, C. B. (2009). Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. – *Annual Review of Environment and Resources*. Vol. 34, vahendusel.
8. **Finger, F.** (2010). Evidence of slowing yield growth – The example of Swiss cereal yields. – *Food Policy*. Vol. 35, pp. 175-182.
9. **Fischer, R.A., Byerlee, D., Edmeades, G.O.** (2009). Can Technology Deliver on the Yield Challenge to 2050? – FAO Expert Meeting on How to feed the World in 2050. Rome, 24-26 June 2009.
10. **Gomez, K. A.** (1977). On-farm assessment of yield constraints: methodological problems. – *Constraints to high yields on Asian rice farms: an interim report*. The International Rice Research Institute, pp. 1-16.
11. GYGA. (Eesti andmed uuendatud 01.12.2016) – *Global Yield Gap Atlas*. <http://www.yieldgap.org/> (03.05.2017).

12. Hea põllumajandustava. (2007). Tallinn: Põllumajandusministeerium. 100 lk.
13. **Lemaire, G., Jeuffroy, M.-H., Gastal, F.** (2008). Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage Theory and practices for crop N management. – *European Journal of Agronomy*. Vol. 28, pp. 614-624.
14. **Liu, J., Wang, G., Kelly, T., Zhang, Y., Yang, M., Chu, Q.** (2015). Effect of nitrogen and water deficit type on the yield gap between the potential and attainable wheat yield. – *Chilean Journal of Agricultural Research*. Vol. 74, pp. 457-464.
15. **Lobell, D. B., Cassman, K. G., Field, C. B.** (2009). Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. – *Annual Review of Environment and Resources*. Vol. 34, pp. 179-204.
16. **Makuteniene, D., Baležentis, T.** (2015). The trends of technical, environmental and resource efficiency across agricultural sectors of European countries. – *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development*. Vol. 37:2, pp. 241-251.
17. **Meffe, G. K. C., Ronald, C., Meffe, G. K., Carroll, C. R.** (1997). Principles of Conservation Biology. Sunderland: Sinauer Associates, viidatud: Snyder, K. A., Miththapala, S., Sommer, R., Brsalow, J. (2016). The Yield Gap: Closing the Gap by Widening the Approach. [on-line] <https://www.cambridge.org> (31.08.2016) vahendusel.
18. MES nõuandeteenistus. <http://www.pikk.ee/> (12.05.2017).
19. PM03: Põllukultuuride kasvupind. (andmed uuendatud 10.02.2017). – *Eesti Statistikaameti andmebaas*. <http://pub.stat.ee/> (09.03.2017).
20. PM04: Põllukultuuride saak. (andmed uuendatud 10.02.2017). – *Eesti Statistikaameti andmebaas*. <http://pub.stat.ee/> (09.03.2017).
21. PM041: Põllukultuuride saagikus. (andmed uuendatud 10.02.2017). – *Eesti Statistikaameti andmebaas*. <http://pub.stat.ee/> (09.03.2017).
22. PM042: Põllukultuuride saagikus maakonna järgi. (andmed uuendatud 10.02.2017). – *Eesti Statistikaameti andmebaas*. <http://pub.stat.ee/> (09.03.2017).
23. Põllumajandusloendus 2010. (2012). /Koost. E. Valdvee, A. Klaus. Toim. H. Kapsta. Tallinn: Statistikaamet. 96. lk.
24. Sordileht. (andmed uuendatud 08.01.2013) – *Põllumajandusamet*. <http://www.pma.agri.ee/index.php?id=104&sub=130&sub2=187&sub3=357&sub4=363> (17.05.2017)
25. PMK Viljandi Katsekeskuse katseandmed. (andmed uuendatud 15.11.2016). – *Põllumajandusuuringute Keskus*. <http://213.184.38.90/viljandi/katsed.php> (11.05.2017).
26. Riiklike majanduskatsete tulemused 2006 (2007). Viljandi: PMK Viljandi Katsekeskus. 52. lk.
27. Riiklike majanduskatsete tulemused 2010 (2011). Viljandi: PMK Viljandi Katsekeskus. 78. lk.
28. Riiklike majanduskatsete tulemused 2013 (2014). Viljandi: PMK Viljandi Katsekeskus. 83. lk.
29. Riiklike majanduskatsete tulemused 2015 (2016). Viljandi: PMK Viljandi Katsekeskus. 84. lk.

30. Riiklike majanduskatsete tulemused 2016 (2017). Viljandi: PMK Viljandi Katsekeskus. 73. lk.
31. **Sadras, V.O., Cassman, K.G.G., Grassini, P., Hall, A.J., Bastiaanssen, W.G.M., Laborte, A.G., Milne, A.E., Sileshi, G., Steduto, P.** (2015). Yield gap analysis of field crops: Methods and case studies. – *FAO Water Reports*. Vol. 41.
32. **Snyder, K. A., Miththapala, S., Sommer, R., Brsalow, J.** (2016). The Yield Gap: Closing the Gap by Widening the Approach. [on-line] <https://www.cambridge.org> (31.08.2016).
33. **Tittonell, P.** (2014). Ecological intensification of agriculture — sustainable by nature. – *Current Opinion in Environmental Sustainability*. Vol. 8, pp. 53-61.
34. **Tittonell, P., Giller, K.E.** (2013). When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. – *Field Crops Research*. Vol. 143, pp. 76–90.
35. **van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., Hochmand, Z.** (2013). Yield gap analysis with local to global relevance—A review. – *Field Crops Research*. Vol. 143, pp. 4–17.
36. **van Ittersum, M. K., Rabbinge, R.** (1997). Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. – *Field Crops Research*. Vol. 52, 197–208.
37. **Viira, A.-H.** (2011). Eesti põllumajanduse arenguetapid viimasel 20 aastal. – *Maaelu arengu aruanne 2011*. Tartu: Eesti Maaülikooli majandus- ja sotsiaalinstituut. 125. lk.
38. Viljelusvõistlus. <http://viljelusvoistlus.ee/> (12.04.2017)
39. Viljelusvõistlus 2014: ootused, kogemused, tulemused. (2014) /Koost. M. Ameerikas, L. Sammler, H. Raamets, V. Veski, H. Raudla, E. Mets, P. Viil, E. Koik, M. Annus. Toim. M. Viliberg. Tallinn: Maaleht. 35 lk.
40. Viljelusvõistluse Arhiiv. <http://viljelusvoistlus.ee/arhiiv/> (12.04.2017)
41. Viljelusvõistlus Tulemused. <http://viljelusvoistlus.ee/tulemused/> (12.04.2017)
42. Yield Gap by Country. (Eesti andmed uuendatud 01.12.2016) – Global Yield Gap Atlas. <http://www.yieldgap.org/estonia> (09.03.2017).

YIELD GAP IN ESTONIA ON THE EXAMPLE OF WHEAT

SUMMARY

The object and purpose of the bachelor's thesis is to assess the production level of wheat in Estonia, compared to the potential levels in our area and to find whether the found potential yield is realistically attainable in our conditions.

In order to achieve the goal, the work at hand gave an overview of terminology pertaining to yield gap, factors that affect yield gap and the global approach model of Global Yield Gap Atlas (GYGA). Using the data of GYGA, the potential yield for wheat and the wheat production yield gap in Estonia was calculated. The summary assessed the different forms of winter and summer wheat and their potential yield and yield gap.

The theoretical section introduced Estonian language terminology: potential yield, water-limited potential yield, attainable yield, average yield, economically attainable yield, crop yield gap, exploitable yield gap, farmer-based yield gap, yield gap, technology gap etc. In addition to terminology, the theoretical bases that affect yield such as defining, limiting and reducing factors, were also introduced.

Introduction into specific yield gap areas was also done. The conception of yield gap is a part of intensifying sustainable growth. It was brought out, what are the problems to do with calculating yield gap and which factors are hard to add into models.

Yield gap can be researched on various levels; from global to farmers' specific fields. The goal of global models first and foremost is the calculating of food production potential and the productivity of that field and the assessment of agricultural sector on a state level. Research into yield gaps is important on higher levels, but the closing of said gap can only happen on the lower level aka. production level. State guidelines can either help or hinder, but the state itself has no power over increasing production.

The thesis at hand used the GYGA model to calculate the yield gap. The model used crop growing simulation model's data for water-limited potential yields for winter and summer

wheat. To verify data validity, Agricultural Research Centre variety and economic test results were compared with maximum yields of winter wheat tillage competition.

The numeric data of the model defined the potential yield for winter wheat to be 10,468 kg ha⁻¹ and for summer wheat the yield was 6,236 kg ha⁻¹. A comparison was made with corresponding yields of experimental test farms that had yields as follows: 8 742 kg ha⁻¹ and 7 062 kg ha⁻¹. To assess the veracity of the data, the dynamics of values of the time between 2004-2013 was evaluated. Graphically, most indicators moved synchronously, but correlation analysis gave the best result, which says that there is a strong connection between attainable yield and potential yield for winter wheat, but the same indicators for summer wheat only gave an average result. The attainable yields for summer wheat were 11% higher than those of water-limited potential yields.

The calculations showed that Estonian data in the GYGA model is close to calculations made in the thesis. Yield gap for summer wheat in Estonia is 3 353 kg ha⁻¹ and for winter wheat 6 818 kg ha⁻¹. Water-limited potential yield for winter wheat is 10 198 kg ha⁻¹ and for summer wheat the number is 6 281 kg ha⁻¹. The given yields are realistically attainable, since the fields that took part of tillage competition already proved it as the summer wheat's yield in 2008 was 7 080 kg ha⁻¹ and winter wheat in 2015 was 10 730 kg ha⁻¹.

One of the outputs of the thesis is to introduce new terminology. Knowing the concept of yield gap makes it possible to better position oneself, since yield levels are not the right basis for comparison. Very different areas have very different yields due to different conditions. But relative yield, when compared to potential yield or comparing yield gaps on their own, gives better info of our crop growing production levels.

LISAD

Lisa 1. Saagikust määravad, piiravad ja vähendavad tegurid

Titonell, Giller (2013: 78)

Saagikust määravad faktorid

Sordiomadused Arengumäärad (plastokroon, fütokroon, vegetatsiooniperioodi aktiivsete temperatuuride summa) Kasvumäär (fotosüntees, spetsiifiline leheala, lehe kaalumäär, neto assimilatsioonimäär, relatiivne kasvumäär, hingamise koefitsient) Morfoloogia ja taime ehitus (kasvuharjumused, partitsioon, võrse-juure suhe, leheala suhe, saagi indeks) Kvaliteedi omadused
Keskkond Kiirgus (fotosünteesiliselt aktiivne kiirgus), temperatuur, kasvuperiood (öökülmad), päeva pikkus.
Juhtimine Külviaeg, taimede tihedus ja reavahed (põllu arhitektuur), segaviljelus.

Potentsiaalne saagikus

Saagikust piiravad faktorid

Sordiomadused Põuataluvus / vee efektiivne kasutus, kasvuperioodi pikkus. Toiteainete efektiivne omastamine ja biomassiks muutmine
Keskkond Sademed / põllumajandusheitvesi (tuul, niiskus) Veehoidlad ja kättesaadavus (sisseimbumine, ülejutamine, veepeetus) Toitainete kättesaadavus (N, P, K, S, Ca, Mg, mikrotoitained)
Juhtimine Niisutussüsteemid (tihedus, kogus ja meetod) Väetamine (toitained, päritolu, ajastus ja kasutamise viis) Praegune ja mineviku pinnase töötlemine (heterogeensus) Multšimine, pinnase harimine, terrasspõllundus, viljavaheldus

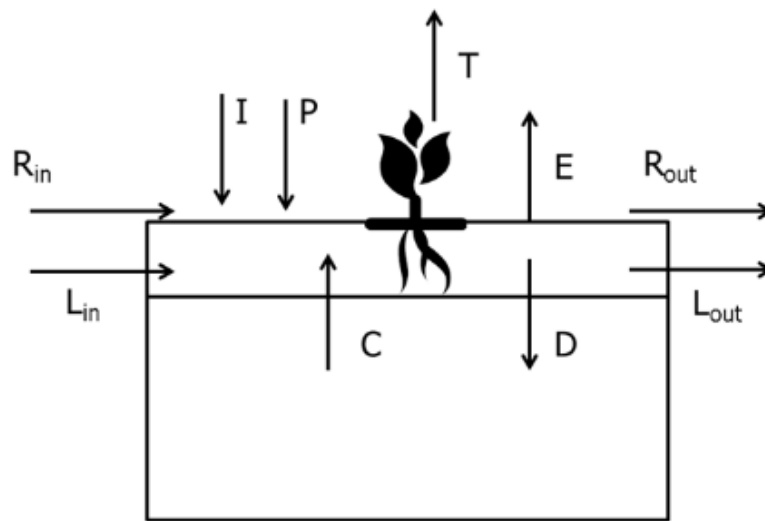
Saavutatav saagikus

Saagikust vähendavad faktorid

Sordiomadused Vastupidavus / resistentsus Konkurentsivõimelisus (umbrohud) Morfoloogia / Fenoloogia
Keskkond Soodsate tingimuste olemasolu kahjurite ja haiguste rünnakuks (ilmastikutingimused, viirused, kahjuridünaamikad, looduslikud vaenlased, naaberpõllud, bioloogiline mitmekesisus).
Juhtimine Praeguste ja eelnevate kahjurite, haiguste ja umbrohtude tõrjumine. Külvikorrad, kaitsetaimestik ja multšimine Taimestiku ruumiline laotus maastikul Võistlus umbrohuga vee, valguse ja toitainete pärast Kahjurite peremeestaimed

Tegelik saagikus

Lisa 2. GYGA esitletud veetaseme kujunemine põllul



Akronüüm	Muutuja*
C	Kapillaartõus
D	Juuretsooni alune vee äravool
E	Pinnase aurustumine
ET	Koguaurumine (pinnase aurustumine pluss põllumajanduskultuuri aurumine)
I	Niisutus
L_{in}	Pinnasealune külgmise sissevool
L_{out}	Pinnasealune külgmise väljavool
P	Sademed
R_{in}	Juurdevool
R_{out}	Äravool
S1	Kättesaadav pinnasevesi külvikõlbuliku pinnase sügavuses külvi ajal
S2	Kättesaadav pinnasevesi külvikõlbuliku pinnase sügavuses füsioloogilise küpsuse ajal
T	Põllumajanduskultuuri aurumine

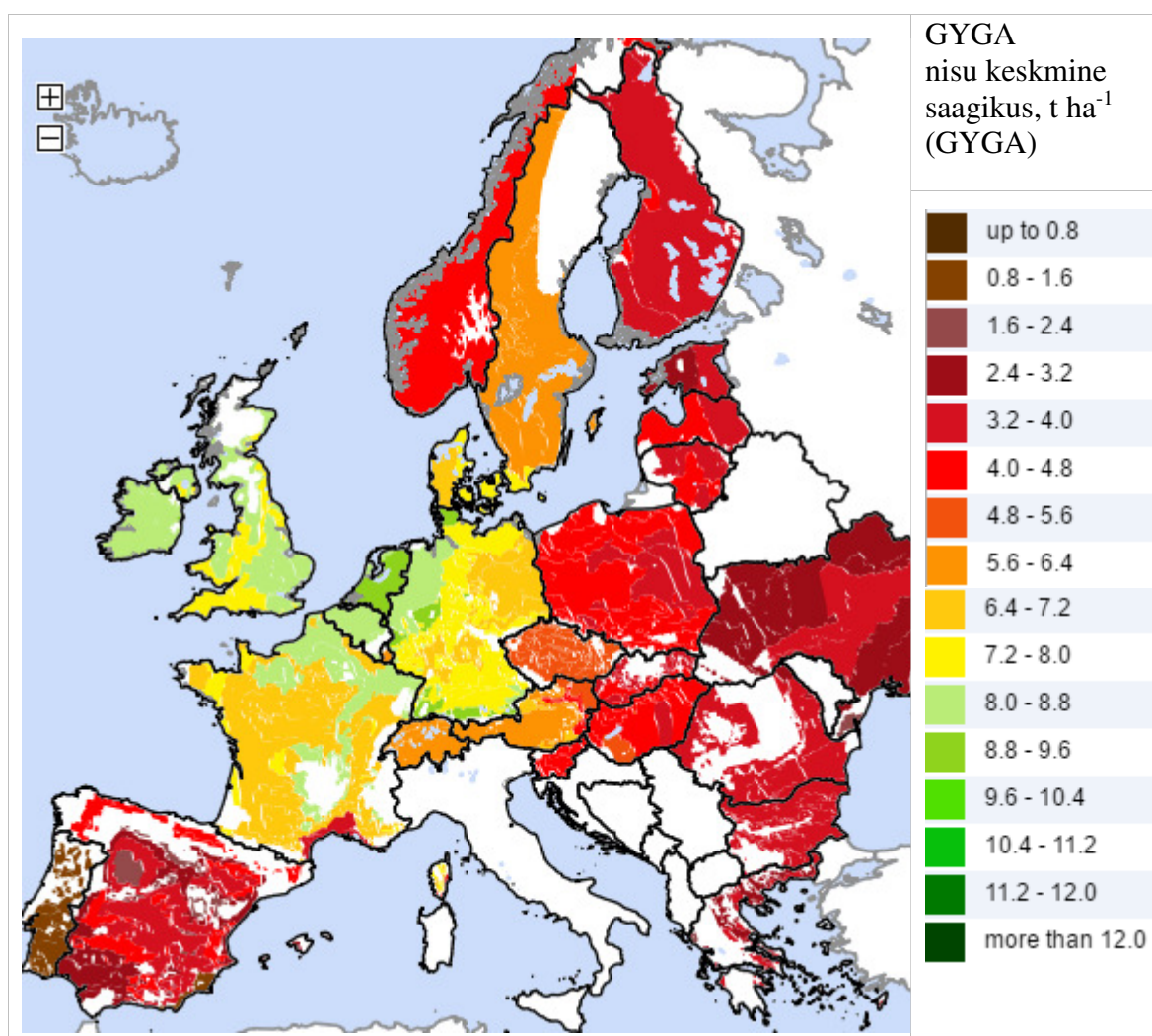
* Muutuja väärtuste summa ajaperioodil külvist füsioloogilise küpsuseni

**Lisa 3. GYGA väljundandmed veega limiteeritud saagikuse kohta Eestis
(2004-2013)**

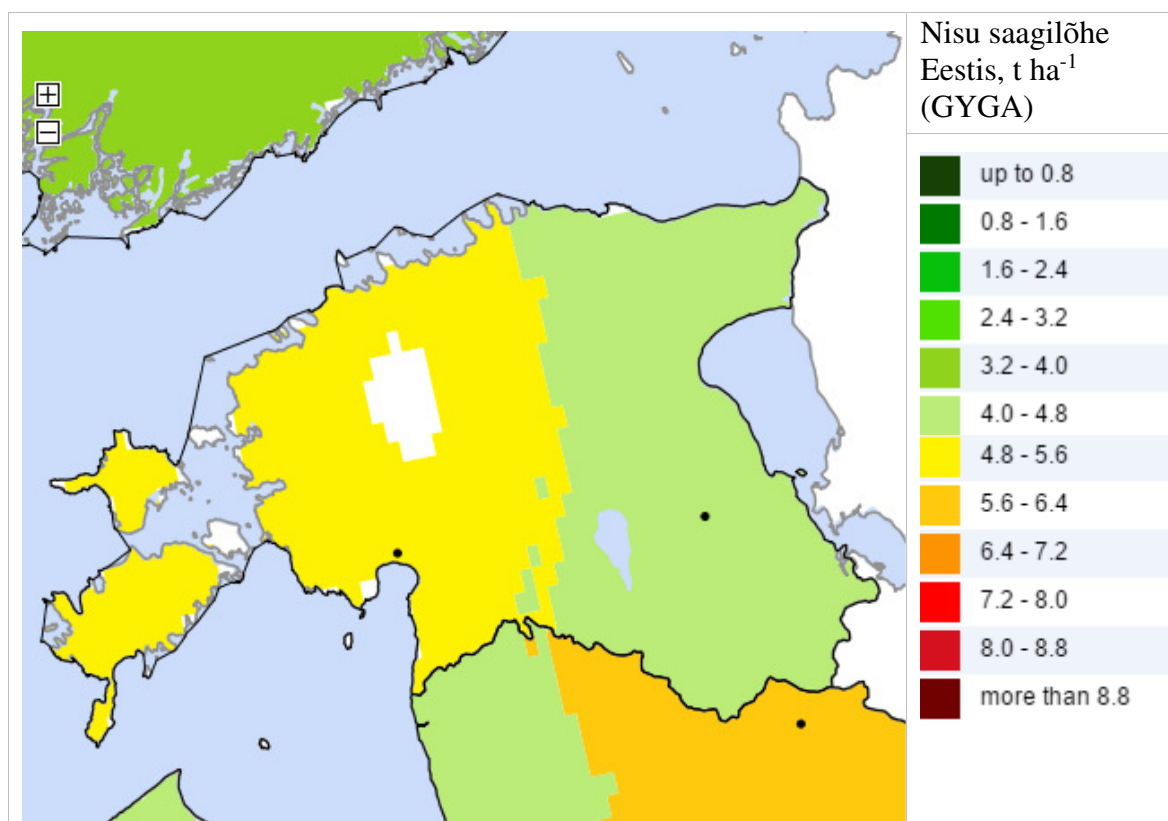
Nisu vorm	Simulatsiooni aasta	Veega limiteeritud potentsiaalne saagikus, kg ha ⁻¹		
		Pärnu ilmajaam esindab 36,74% nisu kasvualast	Tartu ilmajaam esindab 63,26% nisu kasvualast	Eesti nisu kasvuala keskmine saagikus
Suvinisu	2004	5340	5610	5511
Suvinisu	2005	5990	5520*	5693
Suvinisu	2006	6720	6738*	6731
Suvinisu	2007	6570	6450	6494
Suvinisu	2008	6700	6430	6529
Suvinisu	2009	7020	6990	7001
Suvinisu	2010	5430	4365*	4751
Suvinisu	2011	6470	6202*	6300
Suvinisu	2012	6820	6550	6649
Suvinisu	2013	6850	6616*	6702
Taliniisu	2004	9750	9860	9820
Taliniisu	2005	10690	9380*	9861
Taliniisu	2006	11220	8186*	9301
Taliniisu	2007	12190	12026*	12086
Taliniisu	2008	12840	12490	12619
Taliniisu	2009	11020	11310	11203
Taliniisu	2010	9570	8404*	8832
Taliniisu	2011	10250	9330*	9668
Taliniisu	2012	10820	10496*	10615
Taliniisu	2013	10740	10629*	10670

Märkus. * potentsiaalse saagikuse arvutused kolme peamise mullalõimise kaalutud keskmisena vastavalt esinemise osakaaludele. (Autori arvutused)

Lisa 4. GYGA keskmine saagikus Euroopas mudeli graafilise väljundina



Lisa 5. GYGA saagilõhe Eestis mudeli graafilise väljundina



Lisa 6. Talinisu saagikuste ja saagilõhe arvutused

(Viljelusvõistluse Arhiiv; Viljelusvõistlus 2014: 30; GYGA; Yield...; PMK; PM041; autori arvutused)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2004- 2013 keskmine	2009- 2013 keskmine
$Y_w, \text{kg ha}^{-1}$	9 820	9 861	9 301	12 086	12 619	11 203	8 832	9 668	10 615	10 670	10 468	10 198
$Y_{att}, \text{kg ha}^{-1}$	8 033	8 900	8 281	10 670	10 642	8 508	7 636	7 618	9 931	7 248	8 747	8 188
$Y_{vv}, \text{kg ha}^{-1}$	-	7 660	7 000	8 600	9 740	8 710	6 800	7 800	8 700	8 500	8 168	8 102
$Y_{max}, \text{kg ha}^{-1}$	8 942	9 818	8 518	13 709	12 234	9 331	8 684	8 630	10 598	8 374	9 884	9 123
$Y_{min}, \text{kg ha}^{-1}$	4 859	6 721	6 230	5 330	5 657	2 332	2 571	4 503	7 841	2 344	4 839	3 918
$Y_a, \text{kg ha}^{-1}$	2 869	3 634	2 763	4 105	3 823	3 216	2 934	3 013	4 662	3 073	3 409	3 380
$YG, \text{kg ha}^{-1}$	6 951	6 227	6 538	7 981	8 796	7 987	5 898	6 655	5 953	7 597	7 058	6 818
$YG, \%$	242%	171%	237%	194%	230%	248%	201%	221%	128%	247%	212%	209%
$Y_{GE}, \text{kg ha}^{-1}$	5164	5266	5518	6565	6819	5292	4702	4605	5269	4175	5 337	4 808
$Y_{GT}, \text{kg ha}^{-1}$	-	4026	4237	4495	5917	5494	3866	4787	4038	5427	4 699	4 722
suhteline saagikus $Y_a/Y_w * 100\%$	29%	37%	30%	34%	30%	29%	33%	31%	44%	29%	33%	33%
sordilehe sortide osakaal ülemises veerandis, %	30%	47%	25%	36%	63%	58%	67%	73%	55%	19%	47%	54%
sordikatsete arv, tk	79	68	15	56	63	94	85	59	78	64	66	76

Lisa 7. Suvinisu saagikuste ja saagilõhe arvutused

(Viljelusvõistluse Arhiiv; Viljelusvõistlus 2014: 30; GYGA; Yield...; PMK; PM041; autori arvutused)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2004- 2013 keskmine	2009- 2013 keskmine
$Y_w, \text{kg ha}^{-1}$	5511	5693	6731	6494	6529	7001	4751	6300	6649	6702	6236	6281
$Y_{att}, \text{kg ha}^{-1}$	7361	6431	6400	6744	6705	7990	5468	7404	8542	7579	7062	7397
$Y_{vv}, \text{kg ha}^{-1}$	-	6230	-	-	7080	4800	4800	-	-	-	5728	4800
$Y_{max}, \text{kg ha}^{-1}$	7642	6784	7021	7275	7401	8975	6230	8036	9390	8438	7719	8214
$Y_{min}, \text{kg ha}^{-1}$	3929	2000	2631	3437	3754	5121	3513	2574	4420	4460	3584	4018
$Y_a, \text{kg ha}^{-1}$	2357	2917	2296	3106	2759	2883	2604	2659	3102	3392	2808	2928
$YG, \text{kg ha}^{-1}$	3154	2776	4435	3388	3770	4118	2147	3641	3547	3310	3429	3353
$YG, \%$	134%	95%	193%	109%	137%	143%	82%	137%	114%	98%	124%	115%
$YGE, \text{kg ha}^{-1}$	5004	3514	4104	3638	3946	5107	2864	4745	5440	4187	4255	4469
suhteline saagikus $Y_a/Y_w * 100\%$	43%	51%	34%	48%	42%	41%	55%	42%	47%	51%	45%	47%
sordilehe sortide osakaal ülemises veerandis, %	62%	62%	75%	89%	67%	79%	87%	68%	50%	35%	67%	64%
sordikatsete arv, tk	53	52	48	72	73	56	60	76	88	92	67	74

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Eva Tuusis,

sünniaeg 29. detsember 1984,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

Teraviljakasvatuse saagilõhe Eestis nisu näitel,

mille juhendaja on Katri Kall,

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____

(allkiri)

Tartu, _____

(kuupäev)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)